

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 1 1 月 1 4 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 3 8 5 9 7 3
Application Number:

[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 3 8 5 9 7 3]

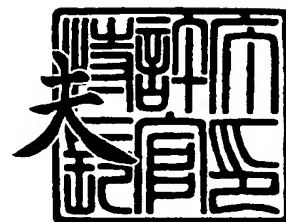
出 願 人 株式会社豊田中央研究所
Applicant(s):



2 0 0 3 年 1 2 月 1 2 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 1 0 3 6 0 1

【書類名】 特許願
【整理番号】 TCP-00247
【提出日】 平成15年11月14日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 B60K 41/00
【発明者】
 【住所又は居所】 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内
 【氏名】 小野 英一
【特許出願人】
 【識別番号】 000003609
 【氏名又は名称】 株式会社豊田中央研究所
【代理人】
 【識別番号】 100079049
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 中島 淳
 【電話番号】 03-3357-5171
【選任した代理人】
 【識別番号】 100084995
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 加藤 和詳
 【電話番号】 03-3357-5171
【先の出願に基づく優先権主張】
 【出願番号】 特願2003- 24177
 【出願日】 平成15年 1月31日
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 006839
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1
 【包括委任状番号】 9102478

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

ドライバが望む車体運動を得るために車体に加えるべき目標合成力と各車輪の限界摩擦円の大きさをパラメータとして含む拘束条件とに基づいて、各車輪の μ 利用率を最適化する各車輪のタイヤ発生力に関する物理量を演算する工程と、

演算された各車輪のタイヤ発生力に関する物理量に基づいて、各車輪の制動力及び駆動力の少なくとも一方を制御する第1の制御量、または前記第1の制御量及び各車輪の操舵角を制御する第2の制御量を演算する工程と、

前記第1の制御量に基づいて、各車輪の制動力及び駆動力の少なくとも一方を制御するか、または前記第1の操作量及び前記第2の操作量に基づいて、各車輪の制動力及び駆動力の少なくとも一方及び各車輪の操舵角を制御する工程と、

を含む車両制御方法。

【請求項 2】

前記拘束条件を、前記目標合成力と直交する方向には力が発生しないことを表す式、及び車両重心回りのモーメントが目的とするモーメントに等しいことを表す式により定めた請求項 1 記載の車両制御方法。

【請求項 3】

前記拘束条件を、車輪数より少ない個数の式、または該式を線形化した式により定めた請求項 1 または 2 記載の車両制御方法。

【請求項 4】

前記目標合成力を、各車輪の限界摩擦円の大きさ及び各車輪のタイヤ発生力に関する物理量を含む 2 次評価関数で表し、

前記拘束条件を定める式の 1 次近似式を満足し、かつ前記 2 次評価関数を最適化する各車輪のタイヤ発生力に関する物理量を前記各車輪の μ 利用率を最適化するタイヤ発生力に関する物理量として演算する請求項 2 または 3 の車両制御方法。

【請求項 5】

前記目標合成力を、各車輪の限界摩擦円の大きさ及び各車輪のタイヤ発生力に関する物理量を含む 2 次評価関数で表し、

前記拘束条件を定める式の 1 次近似式を満足し、かつ前記 2 次評価関数を最適化する各車輪のタイヤ発生力に関する物理量を初期値として演算し、

演算した初期値を用いて、前記拘束条件を定める式を線形化し、

前記拘束条件の線形化式を満足し、かつ前記 2 次評価関数を最適化する各車輪のタイヤ発生力に関する物理量を近似解として演算し、

演算した近似解を前記初期値として用いて、前記拘束条件を定める式の線形化、及び前記近似解の演算を繰り返すことにより、前記各車輪の μ 利用率を最適化するタイヤ発生力に関する物理量を演算する請求項 2 または 3 記載の車両制御方法。

【請求項 6】

前記初期値または近似解を中心にテーラー展開することにより、前記拘束条件を表す式を線形化する請求項 5 記載の車両制御方法。

【請求項 7】

前記タイヤ発生力に関する物理量はタイヤ発生力の方向であって、

前記各車輪の μ 利用率、前記演算したタイヤ発生力の方向、及び前記限界摩擦円の大きさを用いて、ブラッシュモデルに基づいてスリップ角を演算し、演算した該スリップ角を用いて、車両運動モデルに基づいて前記第 2 の制御量を演算する請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項記載の車両制御方法。

【請求項 8】

前記限界摩擦円の大きさを各輪の μ 推定値、または仮想 μ 値及び各輪荷重に基づいて求める請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 項記載の車両制御方法。

【請求項 9】

前記タイヤ発生力に関する物理量はタイヤ発生力の方向であって、



前記各車輪の μ 利用率を最適化するタイヤ発生力の方向は、
各車輪の μ 利用率を均等に最小化するタイヤ発生力の方向、
前後輪の μ 利用率が異なるようにするタイヤ発生力の方向、及び
各車輪のタイヤ発生力の大きさが輪荷重に比例するようにするタイヤ発生力の方向のいずれかである請求項1～8のいずれか1項記載の車両制御方法。

【請求項10】

各車輪の路面 μ が異なるために輪荷重に比例するタイヤ発生力の大きさが得られない場合には、低 μ 輪については限界摩擦円の大きさをタイヤ発生力の大きさとして用い、高 μ 輪については μ 利用率を最小とするタイヤ発生力の大きさをを用いる請求項9記載の車両制御方法。

【請求項11】

左右の車輪で操舵角が同一になるように制御する請求項1～10のいずれか1項記載の車両制御方法。

【請求項12】

前記 μ 利用率を、各輪の限界摩擦円の大きさから得られる限界合成力の大きさに対する前記目標合成力の大きさで表した請求項1～11のいずれか1項記載の車両制御方法。

【請求項13】

前記各車輪で発生するタイヤ発生力の方向を、各車輪で発生したタイヤ発生力の合力として車体に作用する発生合力の方向を基準とし、方向を求める対象車輪の位置から他の車輪までの前記発生合力の方向の距離と該他の車輪の前記タイヤ発生力の大きさとの積を他の車輪の全てについて加算した和に基づいて定めた請求項7～12のいずれか1項記載の車両制御方法。

【請求項14】

ドライバが望む車体運動を得るために車体に加えるべき目標合成力を演算する目標合成力演算手段と、

各車輪の限界摩擦円の大きさを推定する限界摩擦円推定手段と、

前記目標合成力と前記各車輪の限界摩擦円の大きさをパラメータとして含む拘束条件とに基づいて、各車輪の μ 利用率を最適化する各車輪のタイヤ発生力に関する物理量を演算するタイヤ発生力演算手段と、

演算された各車輪のタイヤ発生力に関する物理量に基づいて、各車輪の制動力及び駆動力の少なくとも一方を制御する第1の制御量、または前記第1の制御量及び各車輪の操舵角を制御する第2の制御量を演算する制御量演算手段と、

前記第1の制御量に基づいて、各車輪の制動力及び駆動力の少なくとも一方を制御するか、または前記第1の操作量及び前記第2の操作量に基づいて、各車輪の制動力及び駆動力の少なくとも一方及び各車輪の操舵角を制御する制御手段と、

を含む車両制御装置。

【請求項15】

前記拘束条件を、前記目標合成力と直交する方向には力が発生しないことを表す式、及び車両重心回りのモーメントが目的とするモーメントに等しいことを表す式により定めた請求項14記載の車両制御装置。

【請求項16】

前記拘束条件を、車輪数より少ない個数の式、または該式を線形化した式により定めた請求項14または15記載の車両制御装置。

【請求項17】

前記目標合成力を、各車輪の限界摩擦円の大きさ及び各車輪のタイヤ発生力に関する物理量を含む2次評価関数で表し、

前記拘束条件を定める式の1次近似式を満足し、かつ前記2次評価関数を最適化する各車輪のタイヤ発生力に関する物理量を前記各車輪の μ 利用率を最適化するタイヤ発生力に関する物理量として演算する請求項15または16記載の車両制御装置。

【請求項18】

前記目標合成力を、各車輪の限界摩擦円の大きさ及び各車輪のタイヤ発生力に関する物理量を含む2次評価関数で表し、

前記拘束条件を定める式の1次近似式を満足し、かつ前記2次評価関数を最適化する各車輪のタイヤ発生力に関する物理量を初期値として演算し、

演算した初期値を用いて、前記拘束条件を定める式を線形化し、

前記拘束条件の線形化式を満足し、かつ前記2次評価関数を最適化する各車輪のタイヤ発生力に関する物理量を近似解として演算し、

演算した近似解を前記初期値として用いて、前記拘束条件を定める式の線形化、及び前記近似解の演算を繰り返すことにより、前記各車輪の μ 利用率を最適化するタイヤ発生力に関する物理量を演算する請求項15または16記載の車両制御装置。

【請求項19】

前記初期値または近似解を中心にテーラー展開することにより、前記拘束条件を表す式を線形化する請求項18記載の車両制御装置。

【請求項20】

前記タイヤ発生力に関する物理量はタイヤ発生力の方向であって、

前記各車輪の μ 利用率、前記演算したタイヤ発生力の方向、及び前記限界摩擦円の大きさを用いて、ブラッシュモデルに基づいてスリップ角を演算し、演算した該スリップ角を用いて、車両運動モデルに基づいて前記第2の制御量を演算する請求項14～19のいずれか1項記載の車両制御装置。

【請求項21】

前記限界摩擦円の大きさを各輪の μ 推定値、または仮想 μ 値及び各輪荷重に基づいて求める請求項14～20のいずれか1項記載の車両制御装置。

【請求項22】

前記タイヤ発生力に関する物理量はタイヤ発生力の方向であって、

前記各車輪の μ 利用率を最適化するタイヤ発生力の方向は、

各車輪の μ 利用率を均等に最小化するタイヤ発生力の方向、

前後輪の μ 利用率が異なるようにするタイヤ発生力の方向、及び

各車輪のタイヤ発生力の大きさが輪荷重に比例するようにするタイヤ発生力の方向のいずれかである請求項14～21のいずれか1項記載の車両制御装置。

【請求項23】

各車輪の路面 μ が異なるために輪荷重に比例するタイヤ発生力の大きさが得られない場合には、低 μ 輪については限界摩擦円の大きさをタイヤ発生力の大きさとして用い、高 μ 輪については μ 利用率を最小とするタイヤ発生力の大きさを用いる請求項22記載の車両制御装置。

【請求項24】

左右の車輪で操舵角が同一になるように制御する請求項14～23のいずれか1項記載の車両制御装置。

【請求項25】

前記 μ 利用率を、各輪の限界摩擦円の大きさから得られる限界合成力の大きさに対する前記目標合成力の大きさで表した請求項14～24のいずれか1項記載の車両制御装置。

【請求項26】

前記各車輪で発生するタイヤ発生力の方向を、各車輪で発生したタイヤ発生力の合力として車体に作用する発生合力の方向を基準とし、方向を求める対象車輪の位置から他の車輪までの前記発生合力の方向の距離と該他の車輪の前記タイヤ発生力の大きさとの積を他の車輪の全てについて加算した和に基づいて定めた請求項20～25のいずれか1項記載の車両制御装置。

【請求項27】

ドライバが望む車体運動を得るために車体に加えるべき目標合成力を演算する演算手段と、

各車輪の限界摩擦円の大きさを推定する限界摩擦円推定手段と、

前記限界摩擦円推定手段で推定された各車輪の限界摩擦円の大きさに基づいて、限界合成力を推定する限界合成力推定手段と、

前記目標合成力と前記限界合成力との比を μ 利用率として設定する μ 利用率設定手段と、

各車輪の前記限界摩擦円の大きさに前記 μ 利用率を乗算して各車輪で利用するタイヤ発生力の大きさを設定するタイヤ発生力大きさ設定手段と、

各車輪で発生したタイヤ発生力の合力として車体に作用する発生合力の方向を基準とした各車輪で発生するタイヤ発生力の方向を、方向を求める対象車輪の位置から他の車輪までの前記発生合力の方向の距離と該他の車輪の前記タイヤ発生力の大きさとの積を他の車輪の全てについて加算した和に基づいて各々設定するタイヤ発生力方向設定手段と、

設定されたタイヤ発生力の大きさ及び方向に基づいて、各車輪の操舵角と、制動力及び駆動力の少なくとも一方とを制御する制御手段と、

を含む車両制御装置。

【請求項 2 8】

前記制御手段は、

演算された各車輪のタイヤ発生力の方向及び各車輪のタイヤ発生力の大きさに基づいて、各車輪の制動力及び駆動力の少なくとも一方を制御する第1の制御量、または前記第1の制御量及び各車輪の操舵角を制御する第2の制御量を演算する手段と、

前記第1の制御量に基づいて、各車輪の制動力及び駆動力の少なくとも一方を制御するか、または前記第1の操作量及び前記第2の操作量に基づいて、各車輪の制動力及び駆動力の少なくとも一方及び各車輪の操舵角を制御する手段と、

を含む請求項 2 7 記載の車両制御装置。

【書類名】明細書

【発明の名称】車両制御方法及び車両制御装置

【技術分野】

【0001】

本発明は、車両制御方法及び車両制御装置に係り、特に、4輪独立に操舵角及び制駆動力を制御することによりタイヤ発生力が制御可能な車両、及び前後輪独立に操舵角及びタイヤ発生力が制御可能な車両等を制御するための車両制御方法及び車両制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

4輪の全てを制御対象とし、4輪独立に操舵角を制御する従来技術としては、特開2001-322557号公報記載の技術が知られている。この従来技術には、旋回中に各車輪の操舵角が車両旋回中心に対して直角になるように操舵すると共に、失陥輪が生じた場合には失陥輪の摩擦力を低減するように操舵とブレーキ制御とを行うことが開示されている。この従来技術では、操舵と制動との強調または操舵と駆動との協調については言及されておらず、例えば操舵角は、制駆動に関わらず一定の値を目標値として出力している。

【特許文献1】特開2001-322557号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかしながら、実際の車両では、タイヤと路面との間に摩擦限界が存在し、制駆動力を増加させることによって横力が減少する等の影響がある。このため、タイヤと路面と間の摩擦力を最大限有効に利用するためには、操舵と制動または操舵と駆動との協調が不可欠であるが、上記従来技術には、制駆動に応じて操舵を修正させる等の両者の協調に関しては何ら言及されておらず、タイヤ発生力を最適に利用できない、という問題が生じる。

【0004】

本発明は、上記問題点を解消するためになされたもので、 μ 利用率を最適化するタイヤ発生力の方向を用いてタイヤ発生力を最適に利用できるようにした制駆動制御、操舵と制動または操舵と駆動との協調制御を行なう車両制御方法及び車両制御装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

上記目的を達成するために本発明の車両制御方法は、ドライバが望む車体運動を得るために車体に加えるべき目標合成力と各車輪の限界摩擦円の大きさをパラメータとして含む拘束条件とに基づいて、各車輪の μ 利用率を最適化する各車輪のタイヤ発生力に関する物理量を演算し、演算された各車輪のタイヤ発生力に関する物理量に基づいて、各車輪の制動力及び駆動力の少なくとも一方を制御する第1の制御量、または前記第1の制御量及び各車輪の操舵角を制御する第2の制御量を演算し、前記第1の制御量に基づいて、各車輪の制動力及び駆動力の少なくとも一方を制御するか、または前記第1の操作量及び前記第2の操作量に基づいて、各車輪の制動力及び駆動力の少なくとも一方及び各車輪の操舵角を制御することを特徴とする。

【0006】

前記拘束条件は、前記目標合成力と直交する方向には力が発生しないことを表す式、及び車両重心回りのモーメントが目的とするモーメントに等しいことを表す式により定めることができ、また、車輪数より少ない個数の式、または該式を線形化した式により定めることができる。

【0007】

前記目標合成力を、各車輪の限界摩擦円の大きさ及び各車輪のタイヤ発生力に関する物理量を含む2次評価関数で表し、前記拘束条件を定める式の1次近似式を満足し、かつ前記2次評価関数を最適化する各車輪のタイヤ発生力に関する物理量を前記各車輪の μ 利用

率を最適化するタイヤ発生力に関する物理量として演算することができる。

【0008】

また、前記目標合成力を、各車輪の限界摩擦円の大きさ及び各車輪のタイヤ発生力に関する物理量を含む2次評価関数で表し、前記拘束条件を定める式の1次近似式を満足し、かつ前記2次評価関数を最適化する各車輪のタイヤ発生力に関する物理量を初期値として演算し、演算した初期値を用いて、前記拘束条件を定める式を線形化し、前記拘束条件の線形化式を満足し、かつ前記2次評価関数を最適化する各車輪のタイヤ発生力に関する物理量を近似解として演算し、演算した近似解を前記初期値として用いて、前記拘束条件を定める式の線形化、及び前記近似解の演算を繰り返すことにより、前記各車輪の μ 利用率を最適化するタイヤ発生力に関する物理量を演算することができる。

【0009】

前記拘束条件を表す式を線形化するには、前記初期値または近似解を中心にテーラー展開すればよい。

【0010】

前記タイヤ発生力に関する物理量はタイヤ発生力の方向とし、前記第2の制御量は、前記各車輪の μ 利用率、前記演算したタイヤ発生力の方向、及び前記限界摩擦円の大きさを用いて、ブラッシュモデルに基づいてスリップ角を演算し、演算した該スリップ角を用いて、車両運動モデルに基づいてを演算することができる。

【0011】

前記限界摩擦円の大きさは、各輪の μ 推定値、または仮想 μ 値及び各輪荷重に基づいて求めることができる。

【0012】

前記タイヤ発生力に関する物理量はタイヤ発生力の方向とし、前記各車輪の μ 利用率を最適化するタイヤ発生力の方向は、各車輪の μ 利用率を均等に最小化するタイヤ発生力の方向、前後輪の μ 利用率が異なるようにするタイヤ発生力の方向、及び各車輪のタイヤ発生力の大きさが輪荷重に比例するようにするタイヤ発生力の方向のいずれかとする事ができる。

【0013】

各車輪の路面 μ が異なるために輪荷重に比例するタイヤ発生力の大きさが得られない場合には、低 μ 輪については限界摩擦円の大きさをタイヤ発生力の大きさとして用い、高 μ 輪については μ 利用率を最小とするタイヤ発生力の大きさを用いればよい。

【0014】

左右の車輪で操舵角が同一になるように制御することもでき、前記 μ 利用率は、各輪の限界摩擦円の大きさから得られる限界合成力の大きさに対する前記目標合成力の大きさで表すことができる。

【0015】

そして、前記各車輪で発生するタイヤ発生力の方向は、各車輪で発生したタイヤ発生力の合力として車体に作用する発生合力の方向を基準とし、方向を求める対象車輪の位置から他の車輪までの前記発生合力の方向の距離と該他の車輪の前記タイヤ発生力の大きさとの積を他の車輪の全てについて加算した和に基づいて定めることができる。

【0016】

本発明の車両制御装置は、ドライバが望む車体運動を得るために車体に加えるべき目標合成力を演算する目標合成力演算手段と、各車輪の限界摩擦円の大きさを推定する限界摩擦円推定手段と、前記目標合成力と前記各車輪の限界摩擦円の大きさをパラメータとして含む拘束条件とに基づいて、各車輪の μ 利用率を最適化する各車輪のタイヤ発生力に関する物理量を演算するタイヤ発生力演算手段と、演算された各車輪のタイヤ発生力に関する物理量に基づいて、各車輪の制動力及び駆動力の少なくとも一方を制御する第1の制御量、または前記第1の制御量及び各車輪の操舵角を制御する第2の制御量を演算する制御量演算手段と、前記第1の制御量に基づいて、各車輪の制動力及び駆動力の少なくとも一方を制御するか、または前記第1の操作量及び前記第2の操作量に基づいて、各車輪の制動

力及び駆動力の少なくとも一方及び各車輪の操舵角を制御する制御手段と、を含んで構成することができる。

【0017】

また、ドライバが望む車体運動を得るために車体に加えるべき目標合成力を演算する演算手段と、各車輪の限界摩擦円の大きさを推定する限界摩擦円推定手段と、前記限界摩擦円推定手段で推定された各車輪の限界摩擦円の大きさに基づいて、限界合成力を推定する限界合成力推定手段と、前記目標合成力と前記限界合成力との比を μ 利用率として設定する μ 利用率設定手段と、各車輪の前記限界摩擦円の大きさに前記 μ 利用率を乗算して各車輪で利用するタイヤ発生力の大きさを設定するタイヤ発生力大きさ設定手段と、各車輪で発生したタイヤ発生力の合力として車体に作用する発生合力の方向を基準とした各車輪で発生するタイヤ発生力の方向を、方向を求める対象車輪の位置から他の車輪までの前記発生合力の方向の距離と該他の車輪の前記タイヤ発生力の大きさとの積を他の車輪の全てについて加算した和に基づいて各々設定するタイヤ発生力方向設定手段と、設定されたタイヤ発生力の大きさ及び方向に基づいて、各車輪の操舵角と、制動力及び駆動力の少なくとも一方とを制御する制御手段と、を含んで構成することができる。

【発明の効果】

【0018】

以上説明したように本発明によれば、制駆動制御、操舵と制動または操舵と駆動との協調制御を効率的に行なうことができる、という効果が得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。まず、4輪独立に操舵と制動、及び操舵と駆動が可能な車両における操舵と制動、及び操舵と駆動の各協調制御の原理について説明する。

【0020】

図1に示す4輪車両運動モデルについて、ドライバが望む車体運動を得るために4輪の各々で発生するタイヤ発生力の合力として車体に加えられる力（発生合力）の方向 θ （車両前後方向を基準とした角度）と、各車輪の限界摩擦円の大きさ（半径） F_i （ただし、 $i=1\sim 4$ であり、 $i=1$ は左前輪、 $i=2$ は右前輪、 $i=3$ は左後輪、 $i=4$ は右後輪を各々表している。）とが既知である場合に、目的とするヨーモーメントを確保しつつ、最大の発生合力、すなわち車体に発生する加速度（または減速度）を最大にするための各車輪のタイヤ発生力の方向を求める。この各車輪のタイヤ発生力の方向は、発生合力方向と単輪発生力（各車輪のタイヤ発生力）方向との成す角度 q_i で表す。

【0021】

なお、限界摩擦円は、タイヤがグリップを失わないで車両の運動性能を制御できる限界を表す円であり、限界摩擦円の大きさは車輪と路面との間に生じるタイヤの摩擦力の最大値を表しており、各輪の μ （摩擦係数）推定値または仮想 μ 値と各輪の荷重に基づいて求めることができる。タイヤの摩擦力は、進行方向（駆動力または制動力）の力と横方向（右方向または左方向）の摩擦力との合成力であり、何れかの方向の摩擦力が100%、すなわち限界摩擦円の大きさに一致した場合、他方向の摩擦力はゼロになる。なお、制動力は駆動力と逆方向になる。この摩擦力の範囲をベクトル図で現わすと、図3に示すように略円形で表現できることから限界摩擦円と呼ばれている。

【0022】

ところで、図1の4輪車両運動モデルについて、図2に示すように発生合力の方向を x 軸、 x 軸に垂直な方向を y 軸とする座標変換を実施すると、各タイヤの位置 $(x, y) = (b_i, a_i)$ は、以下の式で表すことができる。

【0023】

【数 1】

$$a_1 = \frac{T_f}{2} \cos \theta - L_f \sin \theta \quad (1)$$

$$a_2 = -\frac{T_f}{2} \cos \theta - L_f \sin \theta \quad (2)$$

$$a_3 = \frac{T_r}{2} \cos \theta + L_r \sin \theta \quad (3)$$

$$a_4 = -\frac{T_r}{2} \cos \theta + L_r \sin \theta \quad (4)$$

$$b_1 = \frac{T_f}{2} \sin \theta + L_f \cos \theta \quad (5)$$

$$b_2 = -\frac{T_f}{2} \sin \theta + L_f \cos \theta \quad (6)$$

$$b_3 = \frac{T_r}{2} \sin \theta - L_r \cos \theta \quad (7)$$

$$b_4 = -\frac{T_r}{2} \sin \theta - L_r \cos \theta \quad (8)$$

【0 0 2 4】

ただし、 T_f は前輪間の間隔、 T_r は後輪間の間隔、 L_f は車両重心から前輪間の中点までの距離、 L_r は車両重心から後輪間の中点までの距離であり、 a_i は x 軸からの距離、 b_i は y 軸からの距離を各々表している。

【0 0 2 5】

また、現時点の車両重心周りで発生すべきヨーモーメント（目的とするモーメント）を M_z とすると、各車輪のタイヤ発生力の方向を示す角度 q_i には、以下の式で表される拘束条件が存在することになる。

【0 0 2 6】

【数 2】

$$F_1 \sin q_1 + F_2 \sin q_2 + F_3 \sin q_3 + F_4 \sin q_4 = 0 \quad (9)$$

$$\begin{aligned} & -a_1 F_1 \cos q_1 - a_2 F_2 \cos q_2 - a_3 F_3 \cos q_3 - a_4 F_4 \cos q_4 \\ & + b_1 F_1 \sin q_1 + b_2 F_2 \sin q_2 + b_3 F_3 \sin q_3 + b_4 F_4 \sin q_4 = M_z \end{aligned} \quad (10)$$

【0 0 2 7】

(9) 式は、y 方向、すなわち発生合力の方向と直交する方向には合力が発生しないことを拘束条件として表したものであり、(10) 式は車両重心回りのモーメントが目的とするヨーモーメント M_z であることを拘束条件として表したものである。この拘束条件を表す式の個数は、車輪数より少なくなる。

【0 0 2 8】

したがって、発生合力を最大化する問題、すなわち μ 利用率を最大化する問題は、(9)、(10) 式の拘束条件を満足し、かつ以下の (11) 式で表される x 軸方向の力の和（発生合力） J を最大化する角度 q_i を求める問題となる。

【0 0 2 9】

【数 3】

$$J = F_1 \cos q_1 + F_2 \cos q_2 + F_3 \cos q_3 + F_4 \cos q_4 \quad (11)$$

【0030】

この問題は、後述するように非線形の最適化問題として数値的な収束演算によって求めることが可能であるが、以下で説明するように近似による解の導出が可能である。

【0031】

まず、拘束条件を表す (9)、(10) 式を 1 次近似すると次式が得られる。

【0032】

【数 4】

$$F_1 q_1 + F_2 q_2 + F_3 q_3 + F_4 q_4 = 0 \quad (12)$$

$$\begin{aligned} b_1 F_1 q_1 + b_2 F_2 q_2 + b_3 F_3 q_3 + b_4 F_4 q_4 \\ = M_2 + a_1 F_1 + a_2 F_2 + a_3 F_3 + a_4 F_4 \end{aligned} \quad (13)$$

【0033】

また、(11) 式については 2 次近似によって次式の 2 次評価関数が得られる。

【0034】

【数 5】

$$J = F_1 - \frac{F_1}{2} q_1^2 + F_2 - \frac{F_2}{2} q_2^2 + F_3 - \frac{F_3}{2} q_3^2 + F_4 - \frac{F_4}{2} q_4^2 \quad (14)$$

【0035】

さらに、(14) 式の 2 次評価関数を最大化する角度 q_i を求める問題は、(14) 式において負の符号を有する項の和 ($K/2$) を最小にする角度 q_i を求める問題、すなわち (15) 式で表される 2 次評価関数を最小化する角度 q_i を求める問題に置き換えることができる。

【0036】

すなわち、 μ 利用率を最大化する問題は、(14) 式で表された各車輪の限界摩擦円の大きさ及び車輪のタイヤ発生力の方向を含む 2 次評価関数を最大化する角度 q_i を求める問題、または (15) 式で表された各車輪の限界摩擦円の大きさ及び各車輪のタイヤ発生力の方向を含む 2 次評価関数を最小化する角度 q_i を求める問題、すなわち μ 利用率を最適化する角度 q_i を求める問題となる。

【0037】

【数 6】

$$K = F_1 q_1^2 + F_2 q_2^2 + F_3 q_3^2 + F_4 q_4^2 \quad (15)$$

【0038】

ここで、次の (16) 式を用いて変数変換を行なうと、

【0039】

【数 7】

$$p_i = \sqrt{F_i} q_i \quad (16)$$

【0040】

(15) 式は、下記 (17) 式に示すようになり、

【0041】

【数8】

$$K = p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + p_4^2 \quad (17)$$

【0042】

結局、

【0043】

【数9】

$$\sqrt{F_1} p_1 + \sqrt{F_2} p_2 + \sqrt{F_3} p_3 + \sqrt{F_4} p_4 = 0 \quad (18)$$

$$\begin{aligned} & b_1 \sqrt{F_1} p_1 + b_2 \sqrt{F_2} p_2 + b_3 \sqrt{F_3} p_3 + b_4 \sqrt{F_4} p_4 \\ & = M_z + a_1 F_1 + a_2 F_2 + a_3 F_3 + a_4 F_4 \end{aligned} \quad (19)$$

【0044】

(18) 式及び (19) 式を満足するユークリッドノルム最小の p_i を求める問題に置き換えられ、次式のように解くことができる。

【0045】

【数10】

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} &= \text{diag} \left[\frac{1}{\sqrt{F_1}}, \frac{1}{\sqrt{F_2}}, \frac{1}{\sqrt{F_3}}, \frac{1}{\sqrt{F_4}} \right] \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \end{bmatrix} \\ &= \text{diag} \left[\frac{1}{\sqrt{F_1}}, \frac{1}{\sqrt{F_2}}, \frac{1}{\sqrt{F_3}}, \frac{1}{\sqrt{F_4}} \right] \begin{bmatrix} \sqrt{F_1} & \sqrt{F_2} & \sqrt{F_3} & \sqrt{F_4} \\ b_1 \sqrt{F_1} & b_2 \sqrt{F_2} & b_3 \sqrt{F_3} & b_4 \sqrt{F_4} \\ 0 & & & \\ M_z + a_1 F_1 + a_2 F_2 + a_3 F_3 + a_4 F_4 & & & \end{bmatrix}^+ \\ &= \frac{M_z + a_1 F_1 + a_2 F_2 + a_3 F_3 + a_4 F_4}{b_1 c_1 F_1 + b_2 c_2 F_2 + b_3 c_3 F_3 + b_4 c_4 F_4} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

(20)

【0046】

ただし、

【0047】

【数11】

$$c_1 = (b_1 - b_2) F_2 + (b_1 - b_3) F_3 + (b_1 - b_4) F_4 \quad (21)$$

$$c_2 = (b_2 - b_1) F_1 + (b_2 - b_3) F_3 + (b_2 - b_4) F_4 \quad (22)$$

$$c_3 = (b_3 - b_1) F_1 + (b_3 - b_2) F_2 + (b_3 - b_4) F_4 \quad (23)$$

$$c_4 = (b_4 - b_1) F_1 + (b_4 - b_2) F_2 + (b_4 - b_3) F_3 \quad (24)$$

【0048】

である。

【0049】

また、(20) 式の diag は括弧内の値を対角要素とする対角行列を表し、 $+$ は擬似逆行列を表している。なお、 A が横長フルランクの行列の場合、 A の擬似逆行列は、

【0050】

【数12】

$$A^+ = (A \cdot A^T)^{-1} A^T \quad (25)$$

【0051】

で演算できる。

【0052】

上記 (20) 式～(24) 式によって導出された角度 q_i は、後述するように μ 利用率 γ が 1 ときの各車輪の発生力方向として、直接、操舵角と制動力または操舵角と駆動力の統合制御に利用することができる。

【0053】

また、(21) 式～(24) 式は、角度 q_i を求める車輪の位置から他の車輪までの車体合成力方向の距離（例えば、 $i = 1$ の車輪については $(b_1 - b_2)$ 、 $(b_1 - b_3)$ 、 $(b_1 - b_4)$ ）と限界摩擦円の大きさとの積を他の車輪全てについて加算した和を各々表している。したがって、各車輪の発生力の方向の車体合成力方向に対する角度 q_i は、各々の輪の位置から他の輪までの車体合成力方向の距離と限界摩擦円の大きさとの積を他の車輪全てについて加算した和に比例していることを表している。

【0054】

さらに、各車輪の位置を表す a_i 、 b_i が、車体合成力方向 θ の関数であるので、各車輪の力の方向の車体合成力方向に対する角度 q_i は、車体合成力方向と各輪の限界摩擦円の大きさの関数として表すことができる。

【0055】

上記のようにして導出された角度 q_i は、上記 (9) 式～(11) 式の非線形最適化における収束演算の初期値として利用することもできる。一般に、非線形最適化問題では、初期値を最適値の近傍とすることによって収束演算の収束が速くなるという性質があり、(20) 式～(24) 式の解を初期値として非線形最適化問題に利用することによって演算効率を高めることができる。

【0056】

ここでの非線形最適化問題は、(20) 式～(24) 式で導出された近似解を中心に (9)，(10) 式をテーラー展開して解を導出し、再びこの解を中心としたテーラー展開と解の導出を繰り返すことによって精度の良い近似解として求めるものである。

【0057】

まず、(9)，(10) 式を上記 (20) 式～(24) 式によって導出された角度 q_i を初期値 q_{i0} とし、この初期値 q_{i0} を中心にテーラー展開すると次式が導出される。

【0058】

【数 13】

$$F_1 \{ \sin q_{10} + (q_1 - q_{10}) \cos q_{10} \} + F_2 \{ \sin q_{20} + (q_2 - q_{20}) \cos q_{20} \} \\ + F_3 \{ \sin q_{30} + (q_3 - q_{30}) \cos q_{30} \} + F_4 \{ \sin q_{40} + (q_4 - q_{40}) \cos q_{40} \} = 0 \quad (26)$$

$$- a_1 F_1 \{ \cos q_{10} - (q_1 - q_{10}) \sin q_{10} \} - a_2 F_2 \{ \cos q_{20} - (q_2 - q_{20}) \sin q_{20} \} \\ - a_3 F_3 \{ \cos q_{30} - (q_3 - q_{30}) \sin q_{30} \} - a_4 F_4 \{ \cos q_{40} - (q_4 - q_{40}) \sin q_{40} \} \\ + b_1 F_1 \{ \sin q_{10} + (q_1 - q_{10}) \cos q_{10} \} + b_2 F_2 \{ \sin q_{20} + (q_2 - q_{20}) \cos q_{20} \} \\ + b_3 F_3 \{ \sin q_{30} + (q_3 - q_{30}) \cos q_{30} \} + b_4 F_4 \{ \sin q_{40} + (q_4 - q_{40}) \cos q_{40} \} \\ = M_z \quad (27)$$

【0059】

これらの(26)式及び(27)式を満足し、かつ(15)式を最小化する解は、上記で説明したように擬似逆行列を使用し、以下の(28)式のように導出することができる。

【0060】

【数 14】

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \text{diag} \left[\frac{1}{\sqrt{F_1}}, \frac{1}{\sqrt{F_2}}, \frac{1}{\sqrt{F_3}}, \frac{1}{\sqrt{F_4}} \right] \\ \cdot \begin{bmatrix} \sqrt{F_1} \cos q_{10} & \sqrt{F_2} \cos q_{20} \\ \sqrt{F_1} (a_1 \sin q_{10} + b_1 \cos q_{10}) & \sqrt{F_2} (a_2 \sin q_{20} + b_2 \cos q_{20}) \\ \sqrt{F_3} \cos q_{30} & \sqrt{F_4} \cos q_{40} \\ \sqrt{F_3} (a_3 \sin q_{30} + b_3 \cos q_{30}) & \sqrt{F_4} (a_4 \sin q_{40} + b_4 \cos q_{40}) \end{bmatrix}^+ \\ \cdot \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^4 F_i (q_{i0} \cos q_{i0} - \sin q_{i0}) \\ M_z + \sum_{i=1}^4 F_i \{ (a_i + b_i q_{i0}) \cos q_{i0} + (a_i q_{i0} - b_i) \sin q_{i0} \} \end{bmatrix} \quad (28)$$

【0061】

次に、(28)式の近似解を用い、この近似解を中心に再度テーラー展開し、テーラー展開した式を満足し、かつ(15)式を最小化する解を上記で説明したように擬似逆行列を使用して導出する。そして、テーラー展開と近似解の導出とを所定回繰返し、精度のよい角度 q_i を導出する。

【0062】

これにより、この(28)式を漸化式として繰返し演算を行うこと、すなわち前ステップで演算された q_i を次ステップの q_{i0} として使用し、テーラー展開と q_i の演算とを繰

返し行うことで、最適化の精度を向上させることができる。

【0063】

次に限界前の操舵・制駆動制御の協調について説明する。上記では、限界運動性能（車体力）を向上させるための操舵系と制駆動系の協調について説明した。ここでは、この制御則を限界前の領域に拡張し、各輪のグリップ余裕を最大化する協調法について説明する。

【0064】

各輪の μ 利用率を γ とした場合、車体発生力の横方向とヨー方向の拘束条件は、上記（9）、（10）式と同様に、以下の式で表される。

【0065】

【数15】

$$\gamma F_1 \sin q_1 + \gamma F_2 \sin q_2 + \gamma F_3 \sin q_3 + \gamma F_4 \sin q_4 = 0$$

$$\begin{aligned} & -a_1 \gamma F_1 \cos q_1 - a_2 \gamma F_2 \cos q_2 - a_3 \gamma F_3 \cos q_3 - a_4 \gamma F_4 \cos q_4 \\ & + b_1 \gamma F_1 \sin q_1 + b_2 \gamma F_2 \sin q_2 + b_3 \gamma F_3 \sin q_3 + b_4 \gamma F_4 \sin q_4 = M_z \end{aligned}$$

【0066】

すなわち

【0067】

【数16】

$$F_1 \sin q_1 + F_2 \sin q_2 + F_3 \sin q_3 + F_4 \sin q_4 = 0 \quad (29)$$

$$\begin{aligned} & -a_1 F_1 \cos q_1 - a_2 F_2 \cos q_2 - a_3 F_3 \cos q_3 - a_4 F_4 \cos q_4 \\ & + b_1 F_1 \sin q_1 + b_2 F_2 \sin q_2 + b_3 F_3 \sin q_3 + b_4 F_4 \sin q_4 = \frac{M_z}{\gamma} \end{aligned} \quad (30)$$

【0068】

と表される。また、車体発生力の大きさを拘束条件として表すと、

【0069】

【数17】

$$\gamma F_1 \cos q_1 + \gamma F_2 \cos q_2 + \gamma F_3 \cos q_3 + \gamma F_4 \cos q_4 = F$$

【0070】

すなわち、

【0071】

【数18】

$$F_1 \cos q_1 + F_2 \cos q_2 + F_3 \cos q_3 + F_4 \cos q_4 = \frac{F}{\gamma} \quad (31)$$

【0072】

となる。したがって、各輪のグリップ余裕を均一に最大化する協調法は（29）～（31）式を満足し、 μ 利用率 γ を最小にする角度 q_i を求める問題となる。また、この問題は、 $F \neq 0$ のときには（30）、（31）式を整理することによって、得られる下記（32）式と、

【0073】

【数 19】

$$\begin{aligned}
& b_1 F_1 \sin q_1 + b_2 F_2 \sin q_2 + b_3 F_3 \sin q_3 + b_4 F_4 \sin q_4 \\
& = \left(a_1 + \frac{M_z}{F} \right) F_1 \cos q_1 + \left(a_2 + \frac{M_z}{F} \right) F_2 \cos q_2 \\
& \quad + \left(a_3 + \frac{M_z}{F} \right) F_3 \cos q_3 + \left(a_4 + \frac{M_z}{F} \right) F_4 \cos q_4 \quad (32)
\end{aligned}$$

【0074】

上記(29)式とを満足し、かつ、

【0075】

【数 20】

$$J = \frac{F}{\gamma} = F_1 \cos q_1 + F_2 \cos q_2 + F_3 \cos q_3 + F_4 \cos q_4 \quad (33)$$

【0076】

上記(33)式を最大化する角度 q_i を求める問題と考えることもできる。上記で説明したのと同様に近似解の導出を考える場合、(29)、(32)式は、1次近似によって以下の式ようになる。

【0077】

【数 21】

$$F_1 q_1 + F_2 q_2 + F_3 q_3 + F_4 q_4 = 0 \quad (34)$$

$$\begin{aligned}
& b_1 F_1 q_1 + b_2 F_2 q_2 + b_3 F_3 q_3 + b_4 F_4 q_4 = \\
& \left(a_1 + \frac{M_z}{F} \right) F_1 + \left(a_2 + \frac{M_z}{F} \right) F_2 + \left(a_3 + \frac{M_z}{F} \right) F_3 + \left(a_4 + \frac{M_z}{F} \right) F_4 \quad (35)
\end{aligned}$$

【0078】

また(33)式は、2次近似によって(14)式の2次評価関数に一致する。このため、上記と同様に(16)式の変数変換を実施し、

【0079】

【数 22】

$$\sqrt{F_1} p_1 + \sqrt{F_2} p_2 + \sqrt{F_3} p_3 + \sqrt{F_4} p_4 = 0 \quad (36)$$

$$\begin{aligned}
& b_1 \sqrt{F_1} p_1 + b_2 \sqrt{F_2} p_2 + b_3 \sqrt{F_3} p_3 + b_4 \sqrt{F_4} p_4 = \\
& \left(a_1 + \frac{M_z}{F} \right) F_1 + \left(a_2 + \frac{M_z}{F} \right) F_2 + \left(a_3 + \frac{M_z}{F} \right) F_3 + \left(a_4 + \frac{M_z}{F} \right) F_4 \quad (37)
\end{aligned}$$

【0080】

を満足するユークリッドノルム最小の p_i を求める問題に置き換えられ、次式のように解くことができる。

【0081】

【数23】

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} &= \text{diag} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{F_1}} & \frac{1}{\sqrt{F_2}} & \frac{1}{\sqrt{F_3}} & \frac{1}{\sqrt{F_4}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \end{bmatrix} \\
&= \text{diag} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{F_1}} & \frac{1}{\sqrt{F_2}} & \frac{1}{\sqrt{F_3}} & \frac{1}{\sqrt{F_4}} \end{bmatrix} \\
&\quad \cdot \begin{bmatrix} \sqrt{F_1} & \sqrt{F_2} & \sqrt{F_3} & \sqrt{F_4} \\ b_1\sqrt{F_1} & b_2\sqrt{F_2} & b_3\sqrt{F_3} & b_4\sqrt{F_4} \end{bmatrix}^+ \\
&\quad \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{M_z}{F}(F_1 + F_2 + F_3 + F_4) + a_1F_1 + a_2F_2 + a_3F_3 + a_4F_4 \end{bmatrix} \\
&= \frac{\frac{M_z}{F}(F_1 + F_2 + F_3 + F_4) + a_1F_1 + a_2F_2 + a_3F_3 + a_4F_4}{b_1c_1F_1 + b_2c_2F_2 + b_3c_3F_3 + b_4c_4F_4} \cdot \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{bmatrix} \quad (38)
\end{aligned}$$

【0082】

ただし、

【0083】

【数24】

$$c_1 = (b_1 - b_2)F_2 + (b_1 - b_3)F_3 + (b_1 - b_4)F_4 \quad (39)$$

$$c_2 = (b_2 - b_1)F_1 + (b_2 - b_3)F_3 + (b_2 - b_4)F_4 \quad (40)$$

$$c_3 = (b_3 - b_1)F_1 + (b_3 - b_2)F_2 + (b_3 - b_4)F_4 \quad (41)$$

$$c_4 = (b_4 - b_1)F_1 + (b_4 - b_2)F_2 + (b_4 - b_3)F_3 \quad (42)$$

【0084】

である。また、上記で説明したようにdiagは対角行列を、+は擬似逆行列を表している。(38)～(42)式によって導出された角度 q_i は、後述するように直接各輪のタイヤ発生力方向として操舵と制動または操舵と駆動の統合制御に利用することもできるし、(29)～(31)式の非線形最適化における収束演算の初期値として利用することもできる。なお、上記で説明したのと同様にテラー展開に基づく繰り返し演算によって精度の良い近似解を求める漸化式は、次式のように与えられる。

【0085】

【数 2 5】

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} &= \text{diag} \left[\frac{1}{\sqrt{F_1}} \quad \frac{1}{\sqrt{F_2}} \quad \frac{1}{\sqrt{F_3}} \quad \frac{1}{\sqrt{F_4}} \right] \\
 &\cdot \left[\begin{array}{cc} \sqrt{F_1} \cos q_{10} & \sqrt{F_2} \cos q_{20} \\ \sqrt{F_1} (a_1 \sin q_{10} + b_1 \cos q_{10}) & \sqrt{F_2} (a_2 \sin q_{20} + b_2 \cos q_{20}) \\ \sqrt{F_3} \cos q_{30} & \sqrt{F_4} \cos q_{40} \\ \sqrt{F_3} (a_3 \sin q_{30} + b_3 \cos q_{30}) & \sqrt{F_4} (a_4 \sin q_{40} + b_4 \cos q_{40}) \end{array} \right]^+ \\
 &\cdot \left[\begin{array}{c} \sum_{i=1}^4 F_i (q_{i0} \cos q_{i0} - \sin q_{i0}) \\ \sum_{i=1}^4 F_i \left\{ \left(a_i + b_i q_{i0} + \frac{M_z}{F} \right) \cos q_{i0} + (a_i q_{i0} - b_i) \sin q_{i0} \right\} \end{array} \right] \\
 &\quad (43)
 \end{aligned}$$

【0086】

なお、 μ 利用率 γ は、こうして導出された角度 q_i を用い、下記 (44) 式に基づき演算される。すなわち、 μ 利用率は、各輪の限界摩擦円の大きさから得られる限界合成力（各輪の限界摩擦円の大きさから得られる限界力の目標合成力方向の合力）に対する目標合成力（車体力） F の比で表される。

【0087】

【数 2 6】

$$\gamma = \frac{F}{F_1 \cos q_1 + F_2 \cos q_2 + F_3 \cos q_3 + F_4 \cos q_4} \quad (44)$$

【0088】

また、各輪の制駆動力は、 μ 利用率、各輪の限界摩擦円の大きさ F_i 、及び方向 $q_i + \theta$ を用いて、下記の (45) 式のように導出できる。なお、 γF_i は、タイヤ発生力の大きさを表す。

【0089】

【数 2 7】

$$F_{x_i} = \gamma F_i \cos(q_i + \theta) \quad (45)$$

【0090】

また、同様に各輪の横力は、下記 (46) 式のように導出できる。

【0091】

【数 2 8】

$$F_{y_i} = \gamma F_i \sin(q_i + \theta) \quad (46)$$

【0092】

各輪の舵角は、例えばブラッシュモデルと車両運動モデルとに基づいて演算することができる。ブラッシュモデルは、タイヤ発生力特性を理論式に基づいて記述したモデルであり、タイヤ発生力がブラッシュモデルに従って発生すると仮定すると、各輪の限界摩擦円

の大きさ F_i 、各輪の μ 利用率 γ 、各輪のタイヤ発生力の方向 ($q_i + \theta$) からスリップ角 β_i を以下のように求めることができる。

【0093】

【数29】

$$\beta_i = \tan^{-1} \left(\frac{K_s}{K_\beta} \cdot \frac{-k_i \sin(q_i + \theta)}{1 - k_i \cos(q_i + \theta)} \right) \quad (47)$$

【0094】

ただし、

【0095】

【数30】

$$k_i = \frac{3 F_i}{K_s} \left(1 - (1 - \gamma)^{\frac{1}{3}} \right) \quad (48)$$

【0096】

ここで、 K_s ：ドライビングスティッフネス、 K_β ：コーナリングスティッフネスである。

【0097】

さらに各輪の舵角 δ_i は、スリップ角から車両運動モデルに基づいて演算される。すなわち、車速 v 、操舵角、アクセル開度、ブレーキ踏力などから目標となる車両運動状態量として演算されるヨー角速度 r_0 、車体スリップ角 β_0 から以下のように演算することができる。なお、 $\beta_1 \sim \beta_4$ は、(47) 式の各輪のスリップ角である。

【0098】

【数31】

$$\delta_1 = \beta_0 + \frac{L_f}{v} r_0 - \beta_1 \quad (49)$$

$$\delta_2 = \beta_0 + \frac{L_f}{v} r_0 - \beta_2 \quad (50)$$

$$\delta_3 = \beta_0 - \frac{L_f}{v} r_0 - \beta_3 \quad (51)$$

$$\delta_4 = \beta_0 - \frac{L_f}{v} r_0 - \beta_4 \quad (52)$$

【0099】

操舵制御と制駆動制御との協調を行う場合には、上記のようにして求めた (45) 式の制駆動力を第1の操作量とし、(49) ~ (52) 式の操舵角を第2の操作量として、第1の操作量に基づいて制動力及び駆動力を制御すると共に、第2の操作量に基づいて操舵角、すなわちタイヤ発生力の方向を制御する。なお、タイヤ発生力の方向を制御すると共に、制動力及び駆動力のいずれか一方の大きさを制御するようにしてもよい。

【0100】

この制御に基づく操舵制御と制駆動制御との協調を実施した場合、常に各輪の μ 利用率を均等に最小化することが可能となり、路面や横風などの外乱に対し最も余裕のある運動性能を示すことが可能である。

【0101】

また、車体に加えるべき合成力を最大化するときには、上記 (45) 式において各輪の μ 利用率 γ を 1 とすれば各輪の制駆動力が求められ、上記 (48) 式において μ 利用率 γ を 1 とすれば (49) ~ (52) 式より各輪の操舵角が求められる。

【0102】

そして、上記のようにして求めた各輪の制駆動力及び各輪の操舵角を操作量として車両の駆動力と操舵角、または制動力と操舵角を協調制御する。

【0103】

なお、制駆動力のみを演算し、駆動力、制動力、または制駆動力を制御する、すなわち操舵角を制御することなくタイヤ発生力の大きさのみを制御するようにしてもよい。

【0104】

次に、通常の4輪操舵車へ適応して左右同輪操舵角で制御する場合について説明する。左右輪の操舵角が一致している従来の4輪操舵車の場合、左右輪のスリップ角が一致するという以下の拘束条件が更に付加されることになる。

【0105】

【数32】

$$\tan^{-1}\left(\frac{K_s}{K_\beta} \cdot \frac{-k_1 \sin(q_1 + \theta)}{1 - k_1 \cos(q_1 + \theta)}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{K_s}{K_\beta} \cdot \frac{-k_2 \sin(q_2 + \theta)}{1 - k_2 \cos(q_2 + \theta)}\right) \quad (53)$$

$$\tan^{-1}\left(\frac{K_s}{K_\beta} \cdot \frac{-k_3 \sin(q_3 + \theta)}{1 - k_3 \cos(q_3 + \theta)}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{K_s}{K_\beta} \cdot \frac{-k_4 \sin(q_4 + \theta)}{1 - k_4 \cos(q_4 + \theta)}\right) \quad (54)$$

【0106】

これらの拘束条件は、

【0107】

【数33】

$$k_2 \sin(q_2 + \theta) - k_1 \sin(q_1 + \theta) - k_1 k_2 \sin(q_2 - q_1) = 0 \quad (55)$$

$$k_4 \sin(q_4 + \theta) - k_3 \sin(q_3 + \theta) - k_3 k_4 \sin(q_4 - q_3) = 0 \quad (56)$$

と整理することが可能であり、さらに1次近似すると

【0108】

と整理することが可能であり、さらに1次近似すると

【0109】

【数34】

$$-k_1(\cos\theta - k_2)q_1 + k_2(\cos\theta - k_1)q_2 = (k_1 - k_2)\sin\theta \quad (57)$$

$$-k_3(\cos\theta - k_4)q_3 + k_4(\cos\theta - k_3)q_4 = (k_3 - k_4)\sin\theta \quad (58)$$

【0110】

と表される。ここで、 μ 利用率1の場合、すなわち車体力最大化時には、上記で説明したように、

【0111】

【数35】

$$F_1 \sin q_1 + F_2 \sin q_2 + F_3 \sin q_3 + F_4 \sin q_4 = 0 \quad (59)$$

$$\begin{aligned} & -a_1 F_1 \cos q_1 - a_2 F_2 \cos q_2 - a_3 F_3 \cos q_3 - a_4 F_4 \cos q_4 \\ & + b_1 F_1 \sin q_1 + b_2 F_2 \sin q_2 + b_3 F_3 \sin q_3 + b_4 F_4 \sin q_4 = M_z \end{aligned} \quad (60)$$

【0112】

という拘束条件が存在することから、近似解は、

【0 1 1 3】

【数 3 6】

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 & F_2 & F_3 \\ b_1 F_1 & b_2 F_2 & b_3 F_3 \\ -k_1(\cos\theta - k_2) & k_2(\cos\theta - k_1) & 0 \\ 0 & 0 & -k_3(\cos\theta - k_4) \\ F_4 & & \\ b_4 F_4 & & \\ 0 & & \\ k_4(\cos\theta - k_3) & & \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ M_z + a_1 F_1 + a_2 F_2 + a_3 F_3 + a_4 F_4 \\ (k_1 - k_2)\sin\theta \\ (k_3 - k_4)\sin\theta \end{bmatrix} \quad (61)$$

【0 1 1 4】

と導出される。また、 μ 利用率が 1 以下の状態で車体力 F が与えられた場合には、(60) 式の代わりに (32) 式が用いられるとともに、 μ 利用率 γ を、

【0 1 1 5】

【数 3 7】

$$\gamma = \frac{F}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4}$$

【0 1 1 6】

とすることによって近似解は、

【0 1 1 7】

【数 3 8】

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 & F_2 & F_3 & F_4 \\ b_1 F_1 & b_2 F_2 & b_3 F_3 & b_4 F_4 \\ -k_1(\cos\theta - k_2) & k_2(\cos\theta - k_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3(\cos\theta - k_4) & k_4(\cos\theta - k_3) \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{M_z}{F}(F_1 + F_2 + F_3 + F_4) + a_1 F_1 + a_2 F_2 + a_3 F_3 + a_4 F_4 \\ (k_1 - k_2)\sin\theta \\ (k_1 - k_2)\sin\theta \end{bmatrix} \quad (62)$$

【0 1 1 8】

と導出される。また、このときの各輪の制駆動力及び操舵角は、(45)、(47)～(52)式によって演算される。ただし、(46)～(49)式において左右輪の操舵角は同じ値が演算される。なお、(61)、(62)式は、1次近似によって導出されたものであり、これを初期値として対応する非線形の方程式を上記で説明したように数値的に求め、この解に基づく制御を行なうこともできる。なお、前述のテーラ展開を利用した繰り返し演算を(61)式に適用した場合、近似解は以下の式で表される。

【0119】

【数39】

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{F_1 \cos q_{10}}{a_1 F_1 \sin q_{10} + b_1 F_1 \cos q_{10}} & \frac{F_2 \cos q_{20}}{a_2 F_2 \sin q_{20} + b_2 F_2 \cos q_{20}} \\ -k_1 \{ \cos(q_{10} + \theta) - k_2 \cos(q_{20} - q_{10}) \} & k_2 \{ \cos(q_{20} + \theta) - k_1 \cos(q_{20} - q_{10}) \} \\ 0 & 0 \\ \frac{F_3 \cos q_{30}}{a_3 F_3 \sin q_{30} + b_3 F_3 \cos q_{30}} & \frac{F_4 \cos q_{40}}{a_4 F_4 \sin q_{40} + b_4 F_4 \cos q_{40}} \\ -k_3 \{ \cos(q_{30} + \theta) - k_4 \cos(q_{40} - q_{30}) \} & k_4 \{ \cos(q_{40} + \theta) - k_3 \cos(q_{40} - q_{30}) \} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^4 F_i (q_{i0} \cos q_{i0} - \sin q_{i0}) \\ M_z + \sum_{i=1}^4 F_i \{ (a_i + b_i q_{i0}) \cos q_{i0} + (a_i q_{i0} - b_i) \sin q_{i0} \} \\ d_1 \\ d_2 \end{bmatrix} \quad (63)$$

【0120】

ただし、

【0121】

【数40】

$$\begin{aligned}
 d_1 &= k_1 \{ \sin(q_{10} + \theta) - q_{10} \cos(q_{10} + \theta) \} \\
 &\quad - k_2 \{ \sin(q_{20} + \theta) - q_{20} \cos(q_{20} + \theta) \} \\
 &\quad + k_1 k_2 \{ \sin(q_{20} - q_{10}) - (q_{20} - q_{10}) \cos(q_{20} - q_{10}) \} \\
 d_2 &= k_3 \{ \sin(q_{30} + \theta) - q_{30} \cos(q_{30} + \theta) \} \\
 &\quad - k_4 \{ \sin(q_{40} + \theta) - q_{40} \cos(q_{40} + \theta) \} \\
 &\quad + k_3 k_4 \{ \sin(q_{40} - q_{30}) - (q_{40} - q_{30}) \cos(q_{40} - q_{30}) \} \\
 q_{i0} &: 1 \text{ ステップ前の値}
 \end{aligned}$$

【0122】

また、(62)式に適用した場合には、近似解は以下の式で表される。

【0123】

【数 4 1】

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \cos q_{10} & F_2 \cos q_{20} \\ a_1 F_1 \sin q_{10} + b_1 F_1 \cos q_{10} & a_2 F_2 \sin q_{20} + b_2 F_2 \cos q_{20} \\ -k_1 \{ \cos(q_{10} + \theta) - k_2 \cos(q_{20} - q_{10}) \} & k_2 \{ \cos(q_{20} + \theta) - k_1 \cos(q_{20} - q_{10}) \} \\ 0 & 0 \\ F_3 \cos q_{30} & F_4 \cos q_{40} \\ a_3 F_3 \sin q_{30} + b_3 F_3 \cos q_{30} & a_4 F_4 \sin q_{40} + b_4 F_4 \cos q_{40} \\ 0 & 0 \\ -k_3 \{ \cos(q_{30} + \theta) - k_4 \cos(q_{40} - q_{30}) \} & k_4 \{ \cos(q_{40} + \theta) - k_3 \cos(q_{40} - q_{30}) \} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^4 F_i (q_{i0} \cos q_{i0} - \sin q_{i0}) \\ \sum_{i=1}^4 F_i \left\{ \left(a_i + b_i q_{i0} + \frac{M_z}{F} \right) \cos q_{i0} + (a_i q_{i0} - b_i) \sin q_{i0} \right\} \\ d_1 \\ d_2 \end{bmatrix} \quad (64)$$

【0124】

次に、上記の原理を利用した本実施の形態の第1の具体的構成を図4に基づいて説明する。図に示すように、本実施の形態は、目標合成力の大きさ及び方向を演算する目標合成力演算手段18、各車輪の限界摩擦円の大きさ（半径）を各々推定する限界摩擦円推定手段20、目標合成力の大きさ及び方向と各輪の限界摩擦円の大きさとに基づいて、各輪の発生力方向と μ 利用率とを演算する各輪発生力方向・ μ 利用率演算手段25、各車輪のタイヤ発生力の大きさを設定する各輪発生力設定手段28、及び協調制御装置に接続された制御手段30で構成される。

【0125】

目標合成力演算手段18は、操舵角、車速、アクセル開度、及びブレーキ踏力等からドライバの望む車体運動を得るために車体に加えられる合成力の大きさ及び方向、及びヨーモーメントを演算する。これらの合成力の大きさ及び方向、及びヨーモーメントは、例えば、ドライバ操作に応じて設定される目標となる車両運動状態量であるヨー角速度と車体スリップ角の実測値（または推定値）との偏差に応じて、この偏差を0に漸近させるために必要な合成力の大きさ及び方向及びヨーモーメントを演算することで求めることができる。

【0126】

限界摩擦円推定手段20は、各車輪毎の限界摩擦円の大きさをSATや車輪速運動に基づいて推定する。

【0127】

各輪発生力方向・ μ 利用率演算手段25は、目標合成力の大きさ及び方向と各輪の限界摩擦円の大きさをパラメータとして含む上記の拘束条件とに基づいて、各輪の発生力方向と μ 利用率とを演算する。この演算では、各輪の μ 利用率が均等に最小化するようにタイヤ発生力の方向を演算する場合と、各輪のタイヤ発生力の大きさが各輪の荷重配分に比例する配分で最小化するようにタイヤ発生力の方向を演算する場合とがある。

【0128】

各車輪の路面 μ が異なるために輪荷重に比例するタイヤ発生力の大きさが演算できない場合には、低 μ 輪については限界摩擦円の大きさをタイヤ発生力の大きさとして用い、高 μ 輪については μ 利用率を最小とするタイヤ発生力の大きさをを用いればよい。

【0129】

各輪の発生力方向は、上記で説明したように車輪数より少ない線形化された代数方程式

に基づいて求めることができる。また、各輪の μ 利用率を均等に最小化させる場合には、上述したように、各車輪で発生したタイヤ発生力の合力として車体に作用する発生合力の方向の距離であって、方向を求める対象車輪の位置から他の車輪までの距離と、この他の車輪の限界摩擦円の大きさととの積を他の車輪の全てについて加算した和に基づいて求めることができる。

【0130】

各輪発生力設定手段28は、 μ 利用率を最適化するための各輪のタイヤ発生力方向に基づいて、各輪の舵角と制駆動力とを演算する。

【0131】

制御手段30は、各輪発生力設定手段28で演算された舵角と制駆動力が得られるように操舵及び制駆動アクチュエータによって制御する。

【0132】

図5は、上記の第1の具体的構成によって、片側が路面 $\mu = 0.3$ の雪上路ともう片側が路面 $\mu = 1.0$ のドライ路面というまたぎ路面で直進制動を行ったときの制動加速度[G]の比較をシミュレーションによって演算したものである。なお、4輪独立操舵は、(28)式、前後輪操舵は(63)式に基づいた制御が行なわれており、4輪独立操舵によって制動力が8%ほど増加することがわかる。

【0133】

図6は、(28)、(63)式に基づいて演算される各輪の発生力方向の演算繰り返し回数を、図7は、収束後の各輪の発生力ベクトルと操舵角とを示したものである。

【0134】

図6より、各輪の発生力方向は、2、3回の演算で収束することがわかる。また、図7より、4輪独立操舵は、比較的余裕のある高 μ 側の車輪でモーメントを打ち消す横力を発生させていることがわかる。

【0135】

ところで、図7における前後輪操舵は、摩擦円の縁(図8のタイヤ特性における k_a)を利用する制御則となっているが、より深いスリップ領域(図8のタイヤ特性における k_b)まで利用することを考慮すると、操舵角を変化させることなくタイヤ発生力の方向を変化させることができる。

【0136】

この場合、4輪独立操舵の解である各輪のタイヤ発生力の方向を左右同舵角の前後輪操舵車両で実現することができ、以下のロジックによって4輪独立操舵と同等の車体発生加速度を得ることができる。

【0137】

まず、高 μ 側のタイヤ発生力方向の演算値(4輪独立操舵の制御則)に基づきスリップ角及び操舵角を求めると共に、高 μ 側は、4輪独立操舵時と同じ制駆動力を出力する。

【0138】

次に、高 μ 側のスリップ角とスリップ角が一致すると共に4輪独立操舵の制御則から演算されるタイヤ発生力方向を得るためのスリップ率を次のように求める。低 μ 側を添え字 i 、高 μ 側を添え字 j で表すと、左右輪のスリップ角が一致するという条件は、以下の式で表される。

【0139】

【数42】

$$\tan^{-1} \left(\frac{K_s}{K_\beta} \cdot \frac{-k_i \sin(q_i + \theta)}{1 - k_i \cos(q_i + \theta)} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{K_s}{K_\beta} \cdot \frac{-k_j \sin(q_j + \theta)}{1 - k_j \cos(q_j + \theta)} \right) \quad (65)$$

【0140】

ただし、

【0141】

【数43】

$$k_j = \frac{3 F_j}{K_s}$$

【0142】

上記(65)式において、 q_i 、 q_j は、各々4輪独立操舵を仮定して導出された解（タイヤ発生力の方向）である。これを k_i について解くと、

【0143】

【数44】

$$k_i = \frac{3 F_j \sin(q_j + \theta)}{K_s \sin(q_i + \theta) + 3 F_j \sin(q_j - q_i)} \quad (66)$$

【0144】

となり、スリップ率（前後方向）は、

【0145】

【数45】

$$k_{x_i} = k_i \cos(q_i + \theta) = \frac{3 F_j \sin(q_j + \theta) \cos(q_i + \theta)}{K_s \sin(q_i + \theta) + 3 F_j \sin(q_j - q_i)} \quad (67)$$

【0146】

と演算される。

【0147】

また、制駆動力は、以下の式で与えられる。

【0148】

【数46】

$$F_{x_i} = F_i \cos(q_i + \theta) \quad (68)$$

【0149】

図9は、旋回外輪が路面 $\mu = 0.8$ の湿潤路、旋回内輪が路面 $\mu = 1.0$ の乾燥路の路面において $\theta = 120 \text{ deg}$ の方向に発生合力が作用するような旋回制動時の限界加速度[G]（発生合力方向）の比較をシミュレーションによって演算したものである。

【0150】

前後輪操舵は、左右同角で操舵される車両において前後輪の舵角と4輪の制動力とを(63)式に基づいて求めたときの車両の加速度を示し、また、4輪独立操舵は、(28)式に基づいて各輪の発生力方向を求めたときの車両の加速度を示している。これらの図より、この条件下では4輪独立操舵によって車体の発生加速度が5%ほど増加することがわかる。

【0151】

また、図10は、(28)、(63)式に基づいて演算される各輪の発生力方向の演算繰り返し回数を、図11は、収束後の各輪の発生力ベクトルと操舵角とを示したものである。4輪独立操舵の場合、路面 μ の小さな旋回外輪の舵角は内輪に比べて小さく出力されていることがわかる。なお、ここでのシミュレーションは、コーナリングパワー（CP）や横力の荷重依存性やサスジオメトリー変化などは考慮されていない。

【0152】

ところで、このシミュレーションにおいても図10における前後輪操舵は摩擦円の縁（

図8のタイヤ特性における k_a)を利用する制御則となっているが、より深いスリップ領域(図8のタイヤ特性における k_b)まで利用することを考慮すると、操舵角を変化させることなくタイヤの発生力の方向を変化させることができるため、直進またぎ路面同様に左右同舵角制御の前後輪操舵車両においても、4輪独立操舵車両と同等の車体発生加速度を得ることが可能である。このように限界走行状態(μ 利用率1)においては、摩擦円の縁以上の深いスリップ領域を利用することによって左右同舵角の前後輪操舵車両においても4輪独立操舵と同等の車体加速度を得ることができる。これは、タイヤ発生力を理論的に記述したブラッシュモデルに基づいて導出された結果であるが、実際のタイヤ特性では、深いスリップ領域で発生力が図12に示すように落ち込むこともあり、この場合には前後輪操舵車両で4輪独立操舵の解を実現する場合、車体発生加速度がこの分小さくなることになる。

【0153】

図13は、路面 μ が0.85の均一路面において旋回制動を行ったときの4輪独立操舵、前後輪操舵車両の解(各輪、車体の発生力ベクトルと操舵角)を示したものである。このように均一 μ の路面においては、4輪独立操舵と前後輪操舵の差は生じず、双方ともに $q_i = 0$ という解が得られる。

【0154】

このように均一 μ の路面では、4輪独立操舵と前後輪操舵との差は殆ど生じなく、かつ各車輪の発生力方向 q_i が比較的小さくなることを考慮すると、限界、限界前含め以下のような前後輪操舵の制御則を用いるようにしてもよい。

【0155】

まず、限界前の走行状態では、各輪の路面 μ の最大値を利用し、路面 μ がこの最大値で均一の場合の制御を実行する。各輪の μ が不均一の場合には、実際に μ 利用率が均等にはならないものの、各輪のタイヤ発生力は各輪の荷重配分に比例した大きさとなり、各輪の発生力方向 q_i は比較的小さくバランスの良い操舵、制駆動の協調が期待できる。

【0156】

また、低 μ 側の車輪が限界に至った場合、すなわち、下記(69)式のような場合には

【0157】

【数47】

$$F_{iReal} < \gamma F_i \quad (69)$$

【0158】

4輪独立操舵の制御則が利用される。ただし、 γ は(64)式の漸化式の解 q_i から演算された

【0159】

【数48】

$$\gamma = \frac{F}{F_1 \cos q_1 + F_2 \cos q_2 + F_3 \cos q_3 + F_4 \cos q_4} \quad (70)$$

【0160】

であり、 F_i は、路面 μ を高 μ の値に仮定したときのタイヤ発生力の大きさ、 F_{iReal} は、実際の低 μ 輪のタイヤ発生力の大きさである。このときには、4輪独立操舵の制御則導出過程における γF_i を F_{iReal} として導出ができる。例えば、1、3輪(左前後輪)が限界に達した場合、各拘束条件は、

【0161】

【数 4 9】

$$F_{1\text{Real}} \sin q_1 + \gamma F_2 \sin q_2 + F_{3\text{Real}} \sin q_3 + \gamma F_4 \sin q_4 = 0 \quad (71)$$

$$\begin{aligned} & -a_1 F_{1\text{Real}} \cos q_1 - a_2 \gamma F_2 \cos q_2 \\ & -a_3 F_{3\text{Real}} \cos q_3 - a_4 \gamma F_4 \cos q_4 \\ & + b_1 F_{1\text{Real}} \sin q_1 + b_2 \gamma F_2 \sin q_2 \\ & + b_3 F_{3\text{Real}} \sin q_3 + b_4 \gamma F_4 \sin q_4 = M_z \end{aligned} \quad (72)$$

$$F_{1\text{Real}} \cos q_1 + \gamma F_2 \cos q_2 + F_{3\text{Real}} \cos q_3 + \gamma F_4 \cos q_4 = F \quad (73)$$

【0162】

と記述される。したがって、この問題は、(71) - (73) を満足し、 γ を最小化する q_i を求めることとなる。これは、非線形の最適化手法を利用してもよいが、次のような漸化式を利用する方法も考えられる。

【0163】

【数 5 0】

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} &= \text{diag} \left[\frac{1}{\sqrt{F_{1\text{Real}}}}, \frac{1}{\sqrt{\gamma_0 F_2}}, \frac{1}{\sqrt{F_{3\text{Real}}}}, \frac{1}{\sqrt{\gamma_0 F_4}} \right] \\ &\cdot \left[\begin{array}{cc} \sqrt{F_{1\text{Real}}} \cos q_{10} & \sqrt{\gamma_0 F_2} \cos q_{20} \\ \sqrt{F_{1\text{Real}}} (a_1 \sin q_{10} + b_1 \cos q_{10}) & \sqrt{\gamma_0 F_2} (a_2 \sin q_{20} + b_2 \cos q_{20}) \\ \sqrt{F_{3\text{Real}}} \cos q_{30} & \sqrt{\gamma_0 F_4} \cos q_{40} \\ \sqrt{F_{3\text{Real}}} (a_3 \sin q_{30} + b_3 \cos q_{30}) & \sqrt{\gamma_0 F_4} (a_4 \sin q_{40} + b_4 \cos q_{40}) \end{array} \right]^+ \\ &\cdot \begin{bmatrix} d_3 \\ d_4 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (74)$$

【0164】

ただし、

【0165】

【数 5 1】

$$\begin{aligned} d_3 &= \sum_{i=1,3} F_{i\text{Real}} (q_{i0} \cos q_{i0} - \sin q_{i0}) + \sum_{i=2,4} \gamma_0 F_i (q_{i0} \cos q_{i0} - \sin q_{i0}) \\ d_4 &= M_z + \sum_{i=1,3} F_{i\text{Real}} \{ (a_i + b_i q_{i0}) \cos q_{i0} + (a_i q_{i0} - b_i) \sin q_{i0} \} \\ &\quad + \sum_{i=2,4} \gamma_0 F_i \{ (a_i + b_i q_{i0}) \cos q_{i0} + (a_i q_{i0} - b_i) \sin q_{i0} \} \end{aligned}$$

【0166】

及び、

【0167】

【数52】

$$\gamma = \frac{F - \sum_{i=1,3} F_{i \text{ Real}} \cos Q_i}{\sum_{i=2,4} F_i \cos Q_i} \quad (75)$$

【0168】

である。

【0169】

ここで、 γ_0 、 F_{i0} における添え字0は、前ステップの演算値を示している。このようにして導出された q_i に基づき、高 μ 側の車輪に関しては、(45)～(52)式に基づいて制駆動力と操舵角が導出できると共に、低 μ 側の車輪に関しては、高 μ 側の車輪のスリップが、

【0170】

【数53】

$$k_i = \frac{3 F_i}{K_s} \left(1 - (1 - \gamma)^{\frac{1}{3}} \right) \quad (76)$$

【0171】

であることを考慮して、(65)～(68)式に基づき制駆動力と操舵角が導出できる。

【0172】

以上説明したように、本実施の形態の各輪の発生力の方向を操作量とする車両運動制御則を導出した場合には、各輪のスリップ角、スリップ率を操作量とする従来の方法と比較して、最適演算にタイヤ非線形モデルを含める必要がない、演算する操作量の数が少ないこと等から従来の方法に比較して制御則の演算量は少なくなり、4輪独立操舵という高自由度のシステムへも展開が可能である。

【0173】

4輪独立操舵車両では、各輪の μ 利用率を均一にすると共に、 μ 利用率を最小化する制御則を導出する例について説明した。これは、所望のF&M（フォース・アンド・モーメント）を得る各輪制御の組み合わせの中で各輪の摩擦余裕を最大化することを意味しており、安全性、耐故障性の向上が期待できる。

【0174】

また、左右同角の前後輪操舵車両では、各輪の μ 利用率を同じ値にする制御則と各輪のタイヤ発生力を荷重配分に比例させる制御則を導出する例について説明した。両者は、均一 μ 路面走行時には、一致するものであり、また前述の4輪独立操舵制御則の解ともほぼ一致するものである。したがって、これらの制御則は均一 μ 路面走行時に、所望のF&Mを得る各輪制御の組み合わせの中で各輪の摩擦余裕を最大化する制御則となっていることを意味しており、安全性、耐故障性の向上が期待できる。

【0175】

さらに、左右同角の前後輪操舵車両でタイヤ発生力を荷重配分に比例させる制御則において低 μ 側の車輪が摩擦限界に達した場合には、4輪独立操舵車両の制御則に基づいて導出された各輪の発生力の方向を前後輪操舵車両で実現するようにした。

【0176】

次に、上記の原理を利用した本実施の形態の第2の具体的構成を図14に基づいて説明する。

【0177】

本実施の形態は、電動パワーステアリング装置を搭載した車両に本発明を適用したもの

である。図に示すように、本実施の形態は、電動パワーステアリング装置のステアリングシャフトの回転角から操舵角を検出する操舵角センサ、電動パワーステアリング装置に流れる電流からパワーアシストトルクを検出するアシストトルクセンサ、操舵トルクを検出するトルクセンサ、車速を検出する車速センサ、アクセル開度を検出するアクセル開度センサ、ブレーキ踏力を検出するブレーキ踏力センサ、及び車輪速を検出する車輪速センサ等を含み、かつ車両に搭載されたセンサ群 10、マイクロコンピュータで構成された制御装置 12、及び制御装置 12 に接続された操舵角及び制駆動を協調して制御する協調制駆動装置 14 から構成されている。

【0178】

マイクロコンピュータで構成された制御装置 12 は、予め記憶されたプログラムに従って複数の機能を有するように制御されるが、この制御装置 12 を機能ブロックで表すと、SAT（セルフアライニングトルク）を推定する SAT 推定手段 16、目標合成力の大きさ及び方向を演算する目標合成力演算手段 18、各車輪の限界摩擦円の大きさ（半径）を各々推定する限界摩擦円推定手段 20、限界合成力の大きさを推定する限界合成力推定手段 22、 μ 利用率設定手段 24、タイヤ発生力の大きさを設定するタイヤ発生力大きさ設定手段 26、各車輪のタイヤ発生力の方向を設定する各輪発生力設定手段 28、及び協調制駆動装置 14 に接続された制御手段 30 で構成される。

【0179】

SAT 推定手段 16 は、トルクセンサで検出された操舵トルク及びアシストトルクセンサで検出されたアシストトルクに基づいて、SAT を推定する。

【0180】

目標合成力演算手段 18 は、各センサで検出された操舵角、車速、アクセル開度、及びブレーキ踏力等からドライバの望む車体運動を得るために車体に加えるべき目標合成力の大きさ及び方向、及びヨーモーメント M_z を演算する。

【0181】

これらの目標合成力の大きさ及び方向、及びヨーモーメント M_z としては、例えば、ドライバの操作に応じて設定される目標となる車両運動状態量であるヨー角速度と、車体スリップ角の実測値または推定値との偏差に応じて、この偏差を 0 に漸近させるために必要な合成力及びヨーモーメントを用いることができる。

【0182】

限界摩擦円推定手段 20 は、各車輪毎の限界摩擦円の大きさを、SAT 推定手段 16 で推定された SAT、及び車輪速センサで検出された車輪速に基づいて推定する。

【0183】

限界合成力推定手段 22 は、限界摩擦円推定手段 20 で推定された各輪の限界摩擦円の大きさから限界合成力の大きさを推定する。この推定は、単純に各輪の限界摩擦力の総和を限界合成力としたり、各輪の限界摩擦力の総和に定数を乗じた値を限界合成力とすることもできるし、目標合成力の方向を θ として θ と目標ヨーモーメントから上記の (20) 式～(24) 式に基づいて角度 q_i を求め、さらに上記 (11) 式に基づいて限界合成力 J を演算しても良い。

【0184】

μ 利用率設定手段 24 は、目標合成力と限界合成力との大きさの比を μ 利用率 γ として設定する。ただし、目標合成力が限界合成力を超えた場合には、 μ 利用率は 1 に設定する。

【0185】

タイヤ発生力大きさ設定手段 26 は、限界摩擦円に μ 利用率を乗じて各車輪で利用するタイヤ発生力の大きさを設定する。

【0186】

各輪発生力方向設定手段 28 は、目標合成力の方向 θ と利用する各輪のタイヤ発生力の大きさ γF_i とから (20) 式～(24) 式の F_i を γF_i に置き換えて得られる次式に基づいて角度 q_i を求め、各輪のタイヤ発生力の大きさ γF_i 及び方向 ($q_i + \theta$) を出力す

る。

【0187】

【数54】

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \text{diag} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{F_1}} & \frac{1}{\sqrt{F_2}} & \frac{1}{\sqrt{F_3}} & \frac{1}{\sqrt{F_4}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sqrt{F_1} & \sqrt{F_2} & \sqrt{F_3} & \sqrt{F_4} \\ b_1\sqrt{F_1} & b_2\sqrt{F_2} & b_3\sqrt{F_3} & b_4\sqrt{F_4} \end{bmatrix}^+ \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{M_z}{\gamma} + (a_1F_1 + a_2F_2 + a_3F_3 + a_4F_4) \end{bmatrix}$$

$$= \frac{\frac{M_z}{\gamma} + (a_1F_1 + a_2F_2 + a_3F_3 + a_4F_4)}{b_1c_1F_1 + b_2c_2F_2 + b_3c_3F_3 + b_4c_4F_4} \cdot \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{bmatrix} \quad (77)$$

【0188】

ただし、

【0189】

【数55】

$$c_1 = (b_1 - b_2) F_2 + (b_1 - b_3) F_3 + (b_1 - b_4) F_4 \quad (78)$$

$$c_2 = (b_2 - b_1) F_1 + (b_2 - b_3) F_3 + (b_2 - b_4) F_4 \quad (79)$$

$$c_3 = (b_3 - b_1) F_1 + (b_3 - b_2) F_2 + (b_3 - b_4) F_4 \quad (80)$$

$$c_4 = (b_4 - b_1) F_1 + (b_4 - b_2) F_2 + (b_4 - b_3) F_3 \quad (81)$$

【0190】

制御手段30は、各輪の発生力の大きさ γF_i 及び方向 $q_i + \theta$ に基づいて、各車輪の操舵角と制動力、または操舵角と駆動力を求め、操舵装置と制動用アクチュエータ、または操舵装置と駆動用アクチュエータを制御する。各車輪の制駆動力は、各車輪のタイヤ発生力の大きさ γF_i 及び方向 $q_i + \theta$ から

【0191】

【数56】

$$F_{xi} = \gamma F_i \cos(q_i + \theta) \quad (82)$$

【0192】

と導出できる。また、同様に各輪の横力は、

【0193】

【数 57】

$$F_{y_i} = \gamma F_i \sin(q_i + \theta) \quad (83)$$

【0194】

と導出できる。

【0195】

各車輪の操舵角は、例えば、ブラッシュモデルと車両運動モデルとに基づいて演算することができる。ブラッシュモデルは、タイヤ発生力特性を理論式に基づいて記述したモデルである。タイヤ発生力がブラッシュモデルに従って発生すると仮定すると、限界摩擦力 F_i 、 μ 利用率 γ 、発生力の方向 $q_i + \theta$ からスリップ角 β_i を以下の式で演算することができる。

【0196】

【数 58】

$$\beta_i = \tan^{-1} \left[\frac{K_s}{K_\beta} \cdot \frac{-k_i \sin(q_i + \theta)}{1 - k_i \cos(q_i + \theta)} \right] \quad (84)$$

【0197】

ただし、

【0198】

【数 59】

$$k_i = \frac{3 F_i}{K_s} \left[1 - (1 - \gamma)^{1/3} \right] \quad (85)$$

【0199】

ここで、 K_s はドライビングステイッフネス、 K_β はコーナリングステイッフネスである。さらに、各輪の舵角は、スリップ角 β_i から車両運動モデルに基づいて演算される。すなわち、車速 v 、操舵角、アクセル開度、ブレーキ踏力等から目標となる車両運動状態量として演算されるヨー角速度 r_0 、車体スリップ角 β_0 から下記のように演算することができる。

【0200】

【数 60】

$$\delta_1 = \beta_0 + \frac{L_f}{v} r_0 - \beta_1 \quad (86)$$

$$\delta_2 = \beta_0 + \frac{L_f}{v} r_0 - \beta_2 \quad (87)$$

$$\delta_3 = \beta_0 - \frac{L_r}{v} r_0 - \beta_3 \quad (88)$$

$$\delta_4 = \beta_0 - \frac{L_r}{v} r_0 - \beta_4 \quad (89)$$

【0201】

この制御に基づく操舵制御と制駆動制御の協調制御を実施した場合、常に各車輪の μ 利用率を均等にすることが可能になり、路面や横風等の外乱に対し最も余裕のある運動性能を示すことが可能である。

【0202】

また、本実施の形態は、前後輪の μ 利用率を独立に設定することもできる。 μ 利用率を独立に設定する場合には、前後輪の μ 利用率を各々 γ_f 、 γ_r とすると、下記のように表すことができる。

【0203】

【数61】

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \frac{M_z + a_1 \gamma_f F_1 + a_2 \gamma_f F_2 + a_3 \gamma_r F_3 + a_4 \gamma_r F_4}{b_1 c_1 \gamma_f F_1 + b_2 c_2 \gamma_f F_2 + b_3 c_3 \gamma_r F_3 + b_4 c_4 \gamma_r F_4} \cdot \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{bmatrix} \quad (100)$$

【0204】

ただし、

【0205】

【数62】

$$c_1 = (b_1 - b_2) \gamma_f F_2 + (b_1 - b_3) \gamma_r F_3 + (b_1 - b_4) \gamma_r F_4 \quad (101)$$

$$c_2 = (b_2 - b_1) \gamma_f F_1 + (b_2 - b_3) \gamma_r F_3 + (b_2 - b_4) \gamma_r F_4 \quad (102)$$

$$c_3 = (b_3 - b_1) \gamma_f F_1 + (b_3 - b_2) \gamma_f F_2 + (b_3 - b_4) \gamma_r F_4 \quad (103)$$

$$c_4 = (b_4 - b_1) \gamma_f F_1 + (b_4 - b_2) \gamma_f F_2 + (b_4 - b_3) \gamma_r F_3 \quad (104)$$

【0206】

このように前後輪の μ 利用率を独立に設定することによって、すなわち前後輪の μ 利用率を異ならせることによって、例えば、後輪の μ 利用率を前輪の μ 利用率に比較して小さく設定することにより、後輪の摩擦余裕を高めることによってスピン抑制効果の高い安定性を重視した運動制御を実現することができる。

【0207】

また、(101)式～(104)式は、対象となる車輪の位置から他の車輪までの車体合成力方向距離と μ 利用率を勘案した出力すべきタイヤ発生力の大きさとの積の和を表しており、結局各車輪の力の方向の車体合成力方向に対する角度は、各々の車輪の位置から他の車輪までの車体合成力方向距離と出力すべきタイヤ発生力の大きさとの積の和に比例していることを表している。

【0208】

さらに、 a_i 、 b_i が車体合成力方向 θ の関数であることを考えると、各車輪の力の方向の車体合成力方向に対する角度は、車体合成力方向と各車輪の出力すべきタイヤ発生力の大きさの関数として記述できることを表している。

【0209】

次に左右同じ操舵角で制御する通常の4輪操舵車に本発明を適用した実施の形態について説明する。

【0210】

左右輪の操舵角が一致している従来の4輪操舵の場合には、左右輪のスリップ角が一致するという下記(105)式及び(106)式の拘束条件が付加されることになる。これらの拘束条件は、整理すると下記(107)式及び(108)式の式のように表すことができる。

【0211】

【数 6 3】

$$\begin{aligned} \tan^{-1} \left(\frac{K_s}{K_\beta} \cdot \frac{-k_1 \sin(q_1 + \theta)}{1 - k_1 \cos(q_1 + \theta)} \right) \\ = \tan^{-1} \left(\frac{K_s}{K_\beta} \cdot \frac{-k_2 \sin(q_2 + \theta)}{1 - k_2 \cos(q_2 + \theta)} \right) \quad (105) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tan^{-1} \left(\frac{K_s}{K_\beta} \cdot \frac{-k_3 \sin(q_3 + \theta)}{1 - k_3 \cos(q_3 + \theta)} \right) \\ = \tan^{-1} \left(\frac{K_s}{K_\beta} \cdot \frac{-k_4 \sin(q_4 + \theta)}{1 - k_4 \cos(q_4 + \theta)} \right) \quad (106) \end{aligned}$$

$$k_2 \sin(q_2 + \theta) - k_1 \sin(q_1 + \theta) - k_1 k_2 \sin(q_2 - q_1) = 0 \quad (107)$$

$$k_4 \sin(q_4 + \theta) - k_3 \sin(q_3 + \theta) - k_3 k_4 \sin(q_4 - q_3) = 0 \quad (108)$$

【0 2 1 2】

さらに、1次近似すると下記のように表される。

【0 2 1 3】

【数 6 4】

$$\begin{aligned} -k_1(\cos \theta - k_2)q_1 + k_2(\cos \theta - k_1)q_2 \\ = (k_1 - k_2) \sin \theta \quad (109) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -k_3(\cos \theta - k_4)q_3 + k_4(\cos \theta - k_3)q_4 \\ = (k_3 - k_4) \sin \theta \quad (110) \end{aligned}$$

【0 2 1 4】

また、これらを p_i で表現すると下記のようになり、

【0 2 1 5】

【数 6 5】

$$\begin{aligned} -\frac{k_1}{\sqrt{F_1}}(\cos \theta - k_2)p_1 + \frac{k_2}{\sqrt{F_2}}(\cos \theta - k_1)p_2 \\ = (k_1 - k_2) \sin \theta \quad (111) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -\frac{k_3}{\sqrt{F_3}}(\cos \theta - k_4)p_3 + \frac{k_4}{\sqrt{F_4}}(\cos \theta - k_3)p_4 \\ = (k_3 - k_4) \sin \theta \quad (112) \end{aligned}$$

【0216】

μ 利用率 γ で走行する場合の下記 (113) 式及び (114) 式で表される他の拘束条件を同時に考慮することによって、各車輪の発生合力方向と単輪発生力とのなす角 q_i を下記 (115) 式に示すように一意に求めることが可能である。

【0217】

【数66】

$$\sqrt{F_1} p_1 + \sqrt{F_2} p_2 + \sqrt{F_3} p_3 + \sqrt{F_4} p_4 = 0 \quad (113)$$

$$b_1 \sqrt{F_1} p_1 + b_2 \sqrt{F_2} p_2 + b_3 \sqrt{F_3} p_3 + b_4 \sqrt{F_4} p_4 = \frac{M_z}{\gamma} + (a_1 F_1 + a_2 F_2 + a_3 F_3 + a_4 F_4) \quad (114)$$

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \text{diag} \left[\frac{1}{\sqrt{F_1}} \quad \frac{1}{\sqrt{F_2}} \quad \frac{1}{\sqrt{F_3}} \quad \frac{1}{\sqrt{F_4}} \right] \cdot \begin{bmatrix} \sqrt{F_1} & \sqrt{F_2} & \sqrt{F_3} & \sqrt{F_4} \\ b_1 \sqrt{F_1} & b_2 \sqrt{F_2} & b_3 \sqrt{F_3} & b_4 \sqrt{F_4} \\ -\frac{k_1}{\sqrt{F_1}} (\cos \theta - k_2) & \frac{k_2}{\sqrt{F_2}} (\cos \theta - k_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{k_3}{\sqrt{F_3}} (\cos \theta - k_4) & \frac{k_4}{\sqrt{F_4}} (\cos \theta - k_3) \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{M_z}{\gamma} + a_1 F_1 + a_2 F_2 + a_3 F_3 + a_4 F_4 \\ (k_1 - k_2) \sin \theta \\ (k_3 - k_4) \sin \theta \end{bmatrix} \quad (115)$$

【0218】

また、このときの各車輪の制駆動力及び操舵角は、(82) 式、(84) 式～(89) 式によって演算される。ただし、(87) 式、(89) 式において左右輪の操舵角は同じ値が演算される。なお、(115) 式は1次近似によって算出されたものであり、この値を初期値として対応する非線形の方程式を数値的に求め、この解に基づく制御を行なうこともできる。この場合には、さらに正確に制御することができる。

【0219】

この制御に基づく操舵制御と制駆動制御との協調を実施した場合、常に各車輪の μ 利用率を均等にすることが可能になり、路面や横風等の外乱に対し最も余裕のある運動性能を示すことが可能である。

【0220】

また、左右輪の操舵角を一致させる場合においても各車輪の μ 利用率を独立に設定することも可能である。この場合の各車輪の発生合力方向と単輪発生力との成す角 q_i は下記の式で表される。

【0221】

【数 6 7】

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} &= \text{diag} \left[\frac{1}{\sqrt{F_1 \gamma_f}}, \frac{1}{\sqrt{F_2 \gamma_f}}, \frac{1}{\sqrt{F_3 \gamma_f}}, \frac{1}{\sqrt{F_4 \gamma_f}} \right] \cdot \\
&\cdot \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{F_1 \gamma_f}}{b_1 \sqrt{F_1 \gamma_f}} & \frac{\sqrt{F_2 \gamma_f}}{b_2 \sqrt{F_2 \gamma_f}} & \frac{\sqrt{F_3 \gamma_f}}{b_3 \sqrt{F_3 \gamma_f}} & \frac{\sqrt{F_4 \gamma_f}}{b_4 \sqrt{F_4 \gamma_f}} \\ -\frac{k_1}{\sqrt{F_1 \gamma_f}}(\cos\theta - k_2) & -\frac{k_2}{\sqrt{F_2 \gamma_f}}(\cos\theta - k_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{k_3}{\sqrt{F_3 \gamma_f}}(\cos\theta - k_4) & -\frac{k_4}{\sqrt{F_4 \gamma_f}}(\cos\theta - k_3) \end{bmatrix}^{-1} \\
&\cdot \begin{bmatrix} 0 \\ M_z + (a_1 F_1 \gamma_f + a_2 F_2 \gamma_f + a_3 F_3 \gamma_f + a_4 F_4 \gamma_f) \\ (k_1 - k_2) \sin\theta \\ (k_3 - k_4) \sin\theta \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} F_1 \gamma_f & F_2 \gamma_f & F_3 \gamma_f & F_4 \gamma_f \\ b_1 F_1 \gamma_f & b_2 F_2 \gamma_f & b_3 F_3 \gamma_f & b_4 F_4 \gamma_f \\ -k_1(\cos\theta - k_2) & k_2(\cos\theta - k_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -k_3(\cos\theta - k_4) & k_4(\cos\theta - k_3) \end{bmatrix}^{-1} \\
&\cdot \begin{bmatrix} 0 \\ M_z + (a_1 F_1 \gamma_f + a_2 F_2 \gamma_f + a_3 F_3 \gamma_f + a_4 F_4 \gamma_f) \\ (k_1 - k_2) \sin\theta \\ (k_3 - k_4) \sin\theta \end{bmatrix} \quad (116)
\end{aligned}$$

【0 2 2 2】

さらに、本実施の形態は、前輪及び後輪のいずれかのみが左右独立に操舵可能となる車両に対しても適用可能であり、例えば、後輪のみが左右独立に操舵できる車両の場合には、各車輪の発生合力方向と単輪発生力との成す角 q_i は、下記の式で記述することができる。

【0 2 2 3】

【数 68】

$$\begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \text{diag} \left[\frac{1}{\sqrt{F_1 \gamma_f}} \quad \frac{1}{\sqrt{F_2 \gamma_f}} \quad \frac{1}{\sqrt{F_3 \gamma_r}} \quad \frac{1}{\sqrt{F_4 \gamma_r}} \right] \cdot \\
 \left[\begin{array}{cccc} \sqrt{F_1 \gamma_f} & \sqrt{F_2 \gamma_f} & \sqrt{F_3 \gamma_r} & \sqrt{F_4 \gamma_r} \\ b_1 \sqrt{F_1 \gamma_f} & b_2 \sqrt{F_2 \gamma_f} & b_3 \sqrt{F_3 \gamma_r} & b_4 \sqrt{F_4 \gamma_r} \\ -\frac{k_1}{\sqrt{F_1 \gamma_f}} (\cos \theta - k_2) & \frac{k_2}{\sqrt{F_2 \gamma_f}} (\cos \theta - k_1) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right]^+ \\
 \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ M_z + (a_1 F_1 \gamma_f + a_2 F_2 \gamma_f + a_3 F_3 \gamma_r + a_4 F_4 \gamma_r) \\ (k_1 - k_2) \sin \theta \end{bmatrix} \quad (117)$$

【0224】

なお、本実施の形態のタイヤ発生力の大きさは、摩擦円の大きさを表すこともできる。

【図面の簡単な説明】

【0225】

【図1】車両運動モデルを示す概略図である。

【図2】図1の車両運動モデルにおける発生合力に対応した座標系を示す概略図である。

【図3】限界摩擦円を示す線図である。

【図4】本発明の実施の形態の第1の具体的構成を示すブロック図である。

【図5】第1の具体的構成によって、またぎ路面で直進制動を行ったときの制動加速度を比較して示すシミュレーション結果の図である。

【図6】(1)は前後輪操舵の場合における演算された各輪の発生力方向と演算繰り返し回数とを示す線図、(2)は4輪独立操舵の場合における演算された各輪の発生力方向と演算繰り返し回数とを示す線図ある。

【図7】収束後の各輪の発生力ベクトルと操舵角とを示す線図である。

【図8】タイヤ発生力特性を示す線図である。

【図9】湿潤路、乾燥路のまたぎ路面における旋回制動時の限界加速度を比較して示すシミュレーション結果の図である。

【図10】(1)は前後輪操舵の場合における演算された各輪の発生力方向と演算繰り返し回数とを示す線図、(2)は4輪独立操舵の場合における演算された各輪の発生力方向と演算繰り返し回数とを示す線図ある。

【図11】収束後の各輪の発生力ベクトルと操舵角とを示す線図である。

【図12】タイヤ発生力を理論的に記述したブラッシュモデルに基づいて導出されたタイヤ特性と実際のタイヤ特性とを比較して示す線図である。

【図13】均一 μ 路の旋回制動における収束後の各輪の発生力ベクトルと操舵角とを示す線図である。

【図14】本発明の実施の形態の第2の具体例を示すブロック図である。

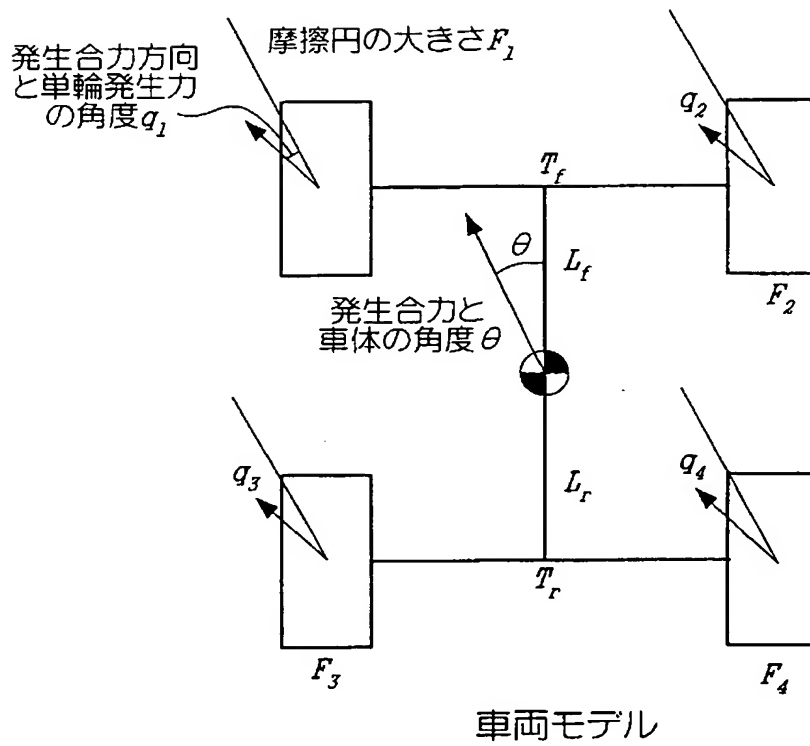
【符号の説明】

【0226】

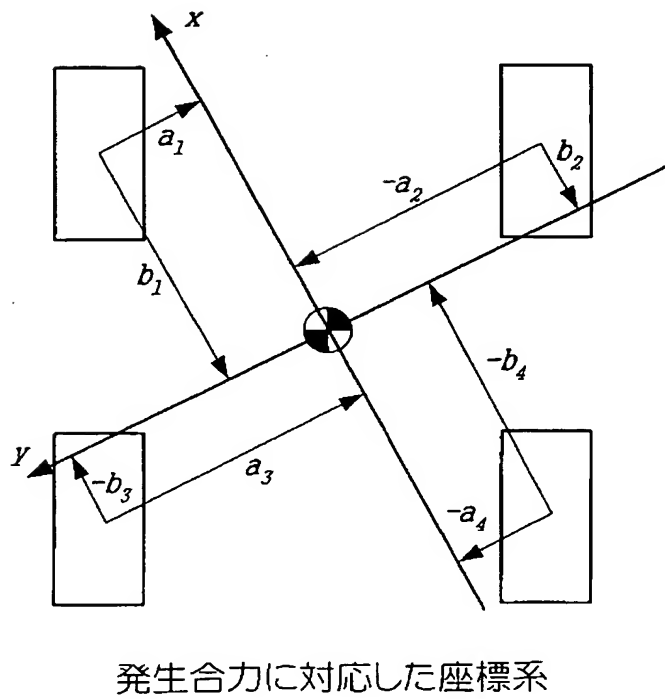
- 10 センサ群
- 12 制御装置

【書類名】 図面

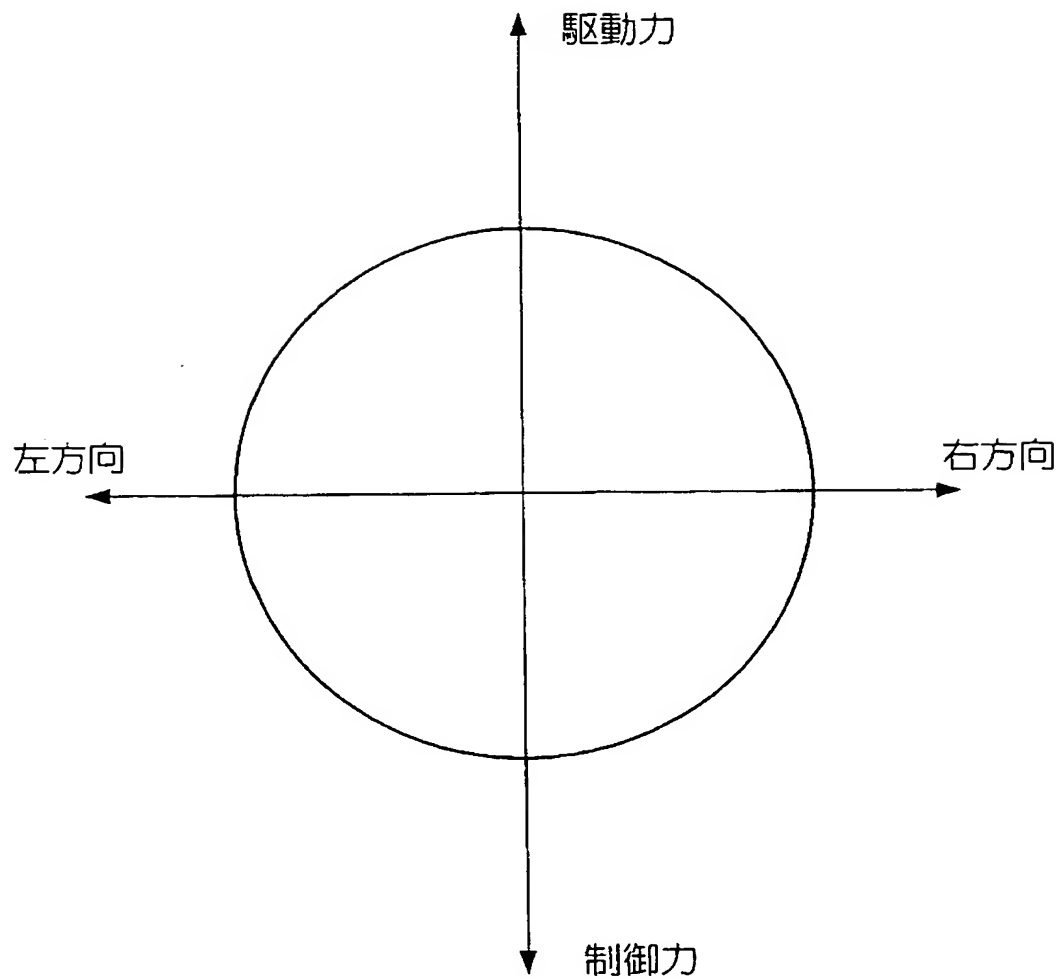
【図 1】



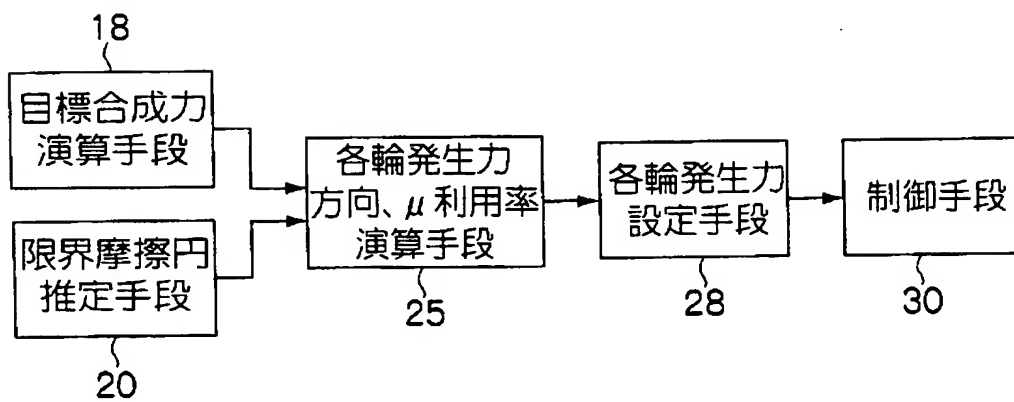
【図 2】



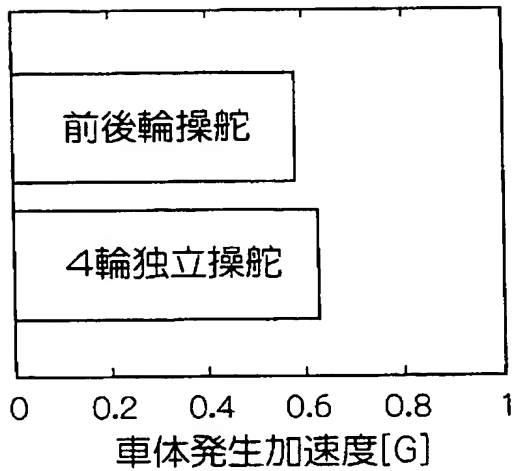
【図 3】



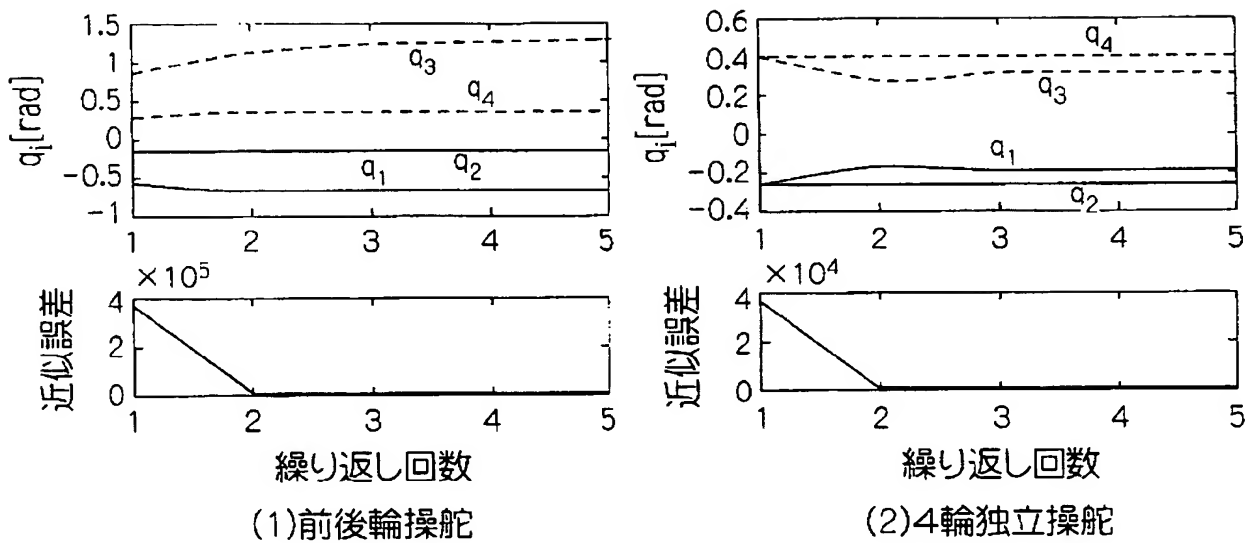
【図 4】



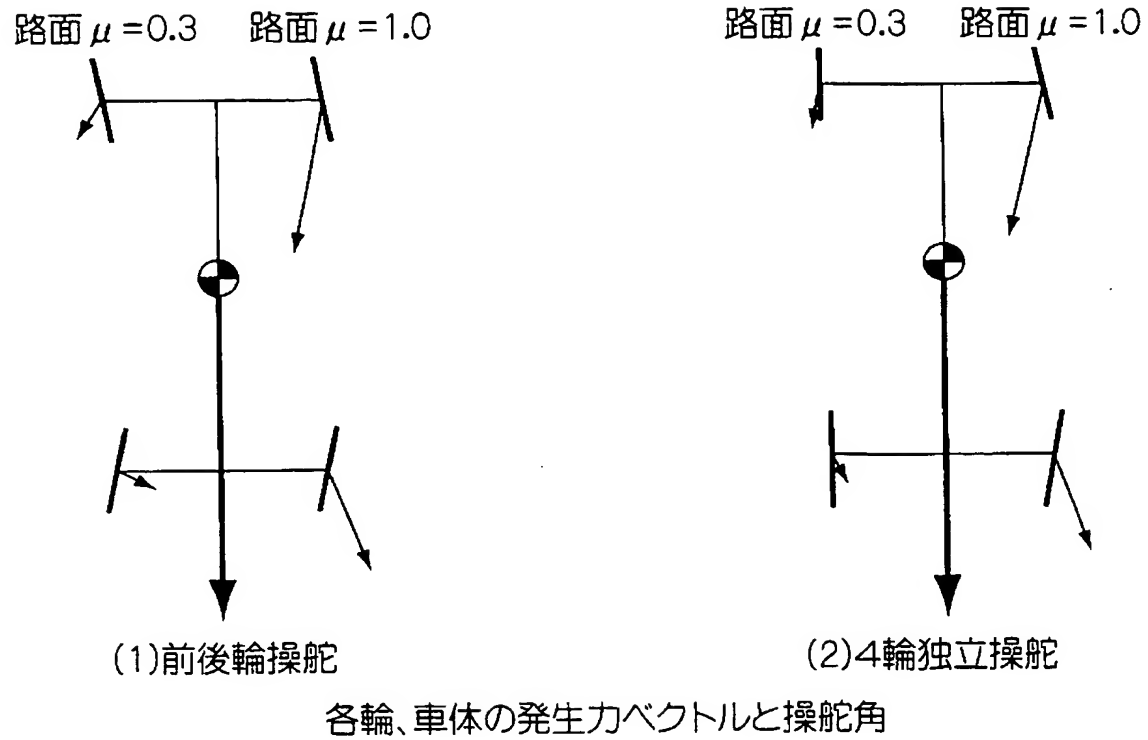
【図 5】



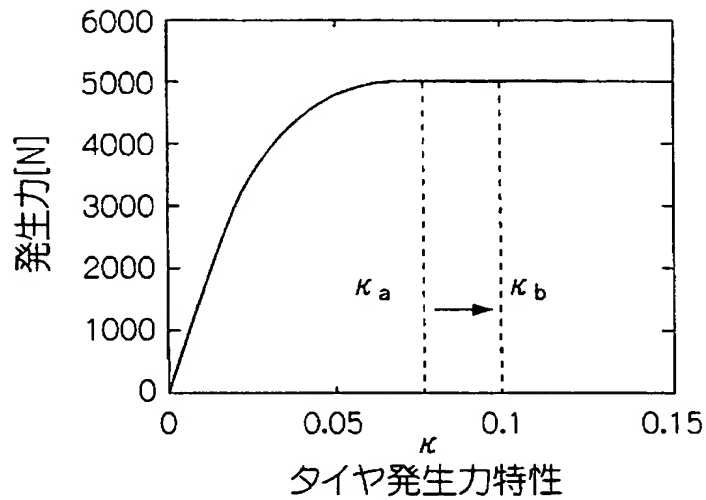
【図 6】



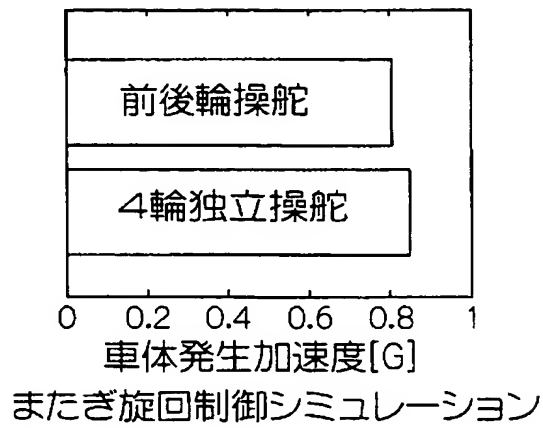
【図 7】



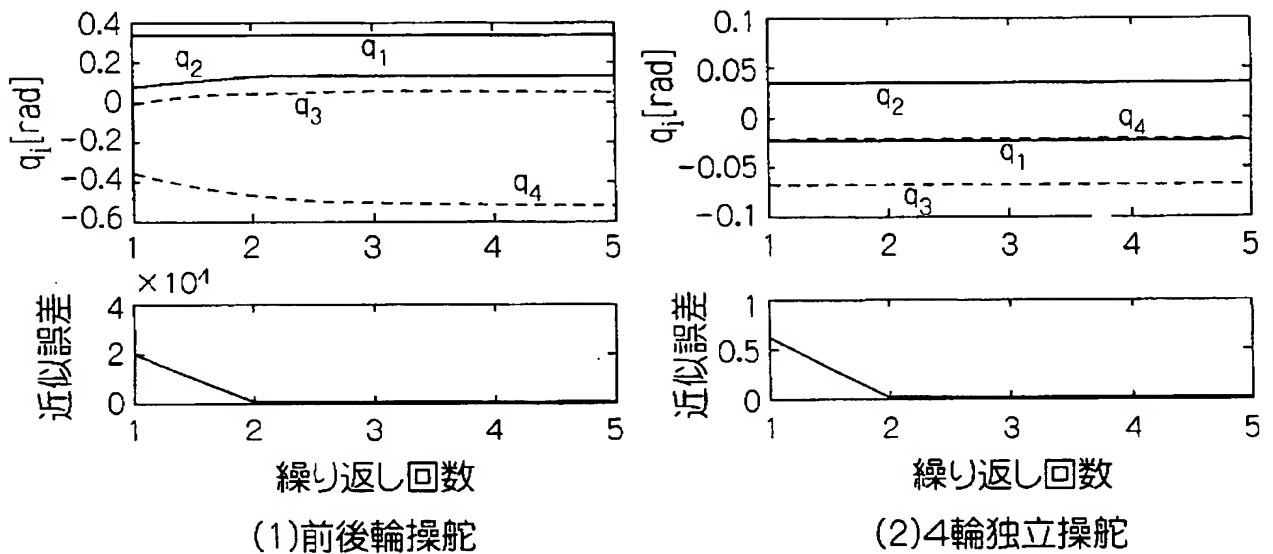
【図 8】



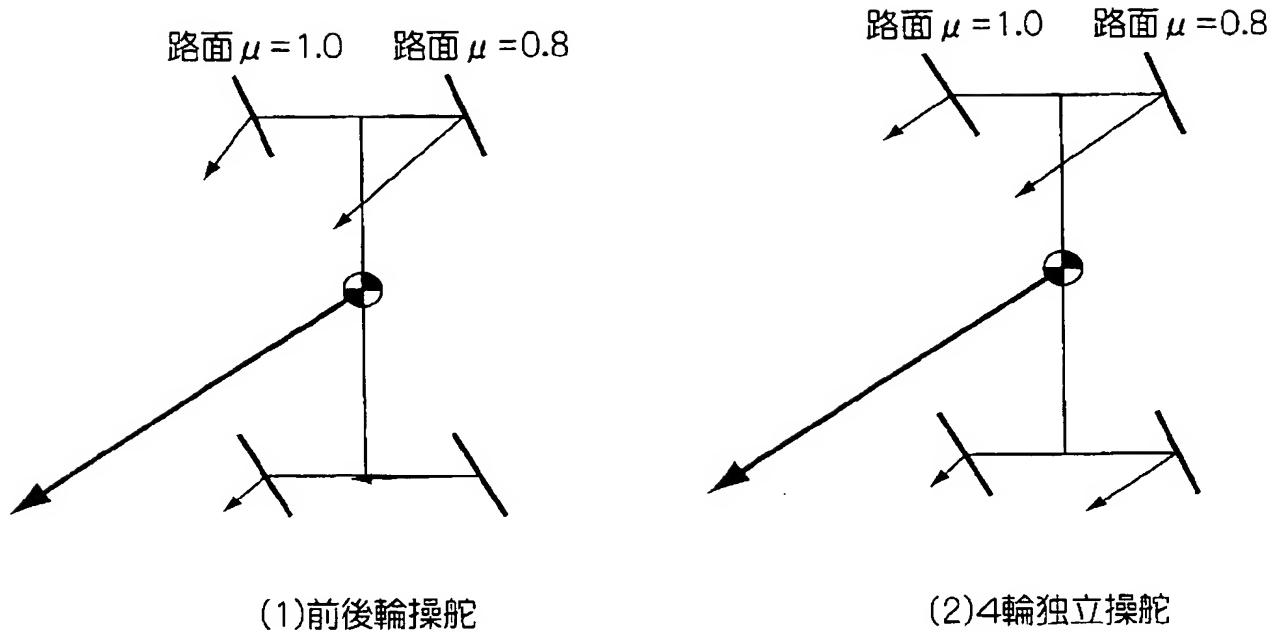
【図 9】



【図 10】

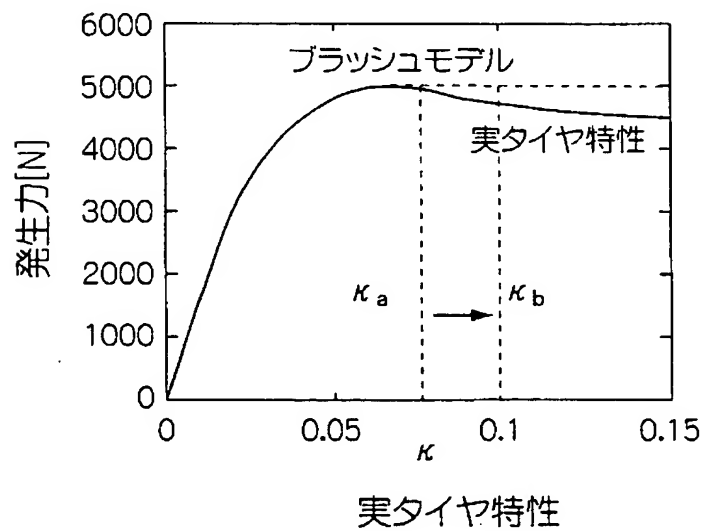


【図 1 1】

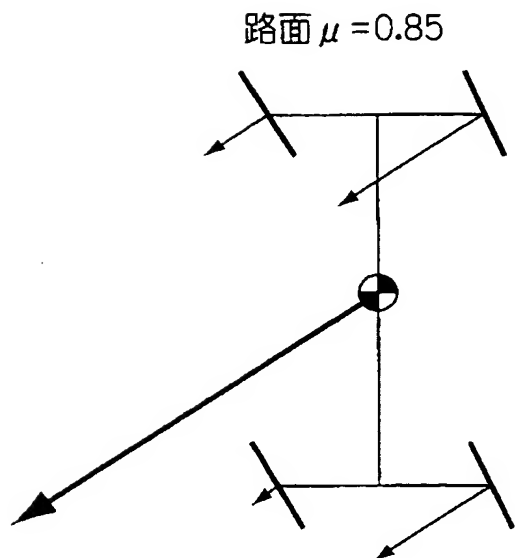


各輪、車体の発生力ベクトルと操舵角

【図 1 2】

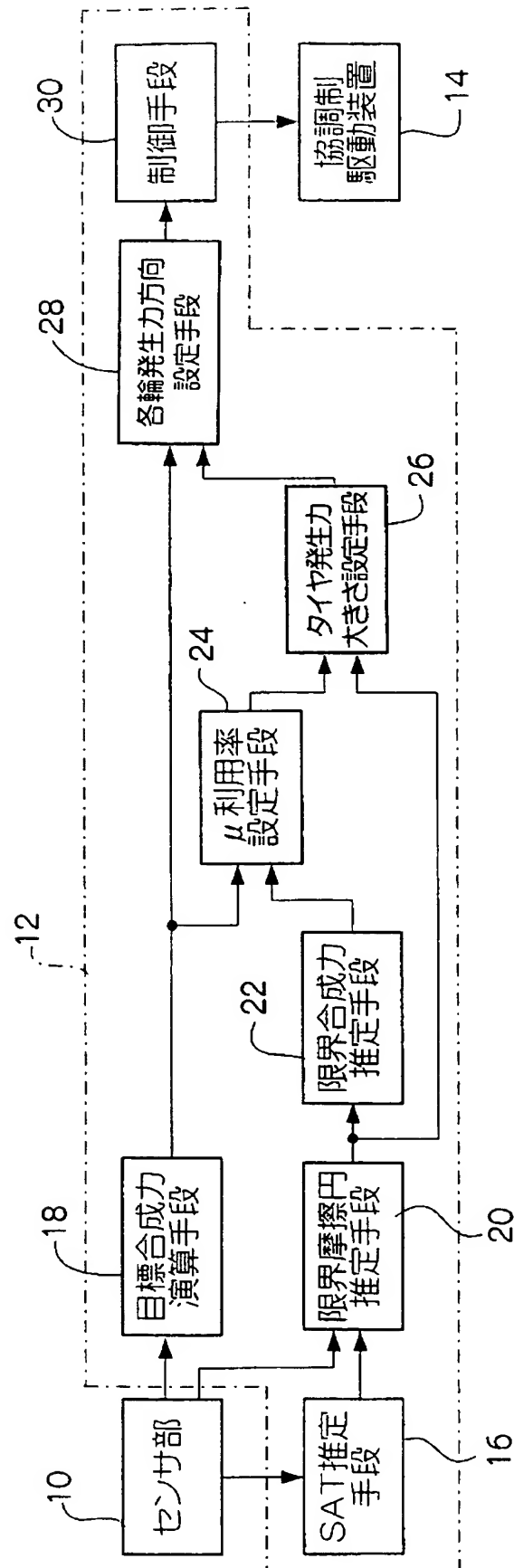


【図 13】



均一 μ 路における旋回制御

【図 14】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】操舵と制動または操舵と駆動との協調制御を行なう。

【解決手段】車体に加える目標合成力を演算し（18）、各車輪の限界摩擦円の大きさを推定し（20）、推定された限界摩擦円の大きさから限界合成力を推定し（22）、目標合成力と限界合成力との比を μ 利用率として設定し（24）、限界摩擦円の大きさと μ 利用率とからタイヤ発生力の大きさを設定する（26）。各制御対象車輪で発生するタイヤ発生力の方向を、方向を求める制御対象車輪の位置から他の車輪までの発生合力の方向の距離と他の車輪のタイヤ発生力の大きさとの積を他の車輪の全てについて加算した和に基づいて各々設定し（28）、設定されタイヤ発生力の大きさ、及び設定されたタイヤ発生力の方向に基づいて、各制御対象車輪の操舵と制動または操舵と駆動との協調制御を行なう（30）。

【選択図】 図14



特願 2 0 0 3 - 3 8 5 9 7 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 3 6 0 9]

1 . 変 更 年 月 日

1 9 9 0 年 9 月 6 日

[変 更 理 由]

新 規 登 録

住 所

愛 知 県 愛 知 郡 長 久 手 町 大 字 長 湫 字 横 道 4 1 番 地 の 1

氏 名

株 式 会 社 豊 田 中 央 研 究 所